

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. November 2004 (18.11.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/099114 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **C07C 59/105**,
C07H 7/027, C07C 51/235

(74) Anwälte: **SCHRELL, Andreas** usw.; Gleiss & Grosse,
Leitzstrasse 45, 70469 Stuttgart (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/004703

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Mai 2004 (04.05.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 19 917.9 5. Mai 2003 (05.05.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **SÜDZUCKER AKTIENGESellschaft**
MANNHEIM/OCHSENFURT [DE/DE]; Maximil-
ianstrasse 10, 68165 Mannheim (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KOWALCZYK**,
Jörg [DE/DE]; Franz-Schubert-Strasse 24, 67304 Eisen-
berg/Steinborn (DE). **HAJI BEGLI, Alireza** [DE/DE];
Gartenstrasse 4, 67305 Ramsen (DE). **PRÜSSE, Ulf**
[DE/DE]; Madamenweg 19, 38118 Braunschweig (DE).
BERNDT, Heinz [DE/DE]; Seestrasse 13, 12623 Berlin
(DE). **PITSCH, Irene** [DE/DE]; Akeleiweg 27, 12487
Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,
RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR SELECTIVE CARBOHYDRATE OXIDATION USING SUPPORTED GOLD CATALYSTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR SELEKTIVEN KOHLENHYDRAT-OXIDATION UNTER VERWENDUNG GETRÄ-
GTER GOLD-KATALYSATOREN

(57) Abstract: The invention relates to a method for the selective oxidation of a carbohydrate in the presence of a gold catalyst comprising gold particles distributed in a nanodispersed manner on a metal oxide support, and to a method for the selective oxidation of an oligosaccharide in the presence of a gold catalyst comprising gold particles distributed in a nanodispersed manner on a carbon or metal oxide support. The invention also relates to aldonic acid oxidation products produced using said method.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur selektiven Oxidation eines Kohlenhydrates in Ge-
genwart eines Gold-Katalysators, der nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Metalloxid-Träger umfasst, ein Verfahren zur
selektiven Oxidation eines Oligosaccharides in Gegenwart eines Gold-Katalysators, der nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem
Kohlenstoff- oder Metalloxid-Träger umfasst und die unter Verwendung dieser Verfahren hergestellten Aldonsäure-Oxidationspro-
dukte.

WO 2004/099114 A1

Verfahren zur selektiven Kohlenhydrat-Oxidation unter Verwendung geträgerter Gold-Katalysatoren

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur selektiven Oxidation eines Kohlenhydrates in Gegenwart eines Gold-Katalysators, der nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Metalloxid-Träger umfasst, ein Verfahren zur selektiven Oxidation eines Oligosaccharides in Gegenwart eines Gold-Katalysators, der nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Kohlenstoff- oder Metalloxid-Träger umfasst, sowie die unter Verwendung dieser Verfahren hergestellten Aldonsäure-Oxidationsprodukte.

Bei der Käse-Produktion und der Molke-verarbeitenden Industrie fallen jährlich weltweit etwa 1,2 Mio. Tonnen Lactose als Abfallprodukt an. Lactose als wichtigster Kohlenhydrat-Bestandteil der Milch hat bislang jedoch kaum wirtschaftliche Bedeutung. Einer der Gründe dafür ist in der Lactose-Intoleranz von Teilen der Bevölkerung zu suchen. Personen mit Lactose-Intoleranz können Lactose nicht verwerten und reagieren bei Lactose-Konsum mit Unverträglichkeitssymptomen wie Durchfall. Nur ein relativ geringer Teil der anfallenden Lactose wird einer wirtschaftlichen Verwertung zugeführt, wobei Lactose beispielsweise als Fermentationssubstrat, als Füllmittel oder zur Herstellung von Diät-Lebensmitteln eingesetzt wird. Der größte Teil der anfallenden Lactose-Mengen wird jedoch über die Abwasseranlagen der Produzenten entsorgt, was zu Störungen des ökologischen Gleichgewichtes in Gewässern führen kann. Da Lactose jedoch ein in gro-

ßen Mengen vorhandener und äußerst kostengünstiger Rohstoff ist, besteht großes Interesse an einer wirtschaftlichen Aufwertung dieses Kohlenhydrates. In jüngster Zeit wurden daher insbesondere verschiedene enzymatische Spaltungs- und Transformationsreaktionen entwickelt, bei denen Lactose als Ausgangsmaterial zur Herstellung höherwertige Produkte eingesetzt wird.

Durch Oxidation von Lactose kann so Lactobionsäure erhalten werden, welche für eine Reihe von Anwendungen äußerst interessant ist. Bislang wird zur Lactobionsäure-Herstellung aus Lactose ein enzymatisches Verfahren unter Verwendung der Enzyme Cellobiose-Dehydrogenase und Hexose-Oxidase eingesetzt. Der nicht zufriedenstellende Umsatz beispielsweise bei der Cellobiose-Dehydrogenase-katalysierten Reaktion lässt sich unter Verwendung des Enzyms Laccase steigern, das die bei der Reaktion reduzierten Redox-Mediatoren reoxidiert. Aufgrund ihrer exzellenten Fähigkeit, Metallchelate zu bilden, wird Lactobionsäure unter anderem in der sogenannten „Wisconsin-Transplantations-Lösung“ eingesetzt, da Lactobionsäure den durch Metallionen bedingten oxidativen Schaden während der Lagerung von zu transplantierenden Organen reduzieren kann. Lactobionsäure lässt sich ebenfalls als biologisch abbaubarer Cobuilder in Waschpulver einsetzen, das bis zu 40 % Lactobionsäure enthalten kann. Aufgrund des milden süßlich-sauren Geschmacks von Lactobionsäure bestehen weitere Anwendungsmöglichkeiten in der Lebensmitteltechnologie.

Auch für andere Aldonsäuren beziehungsweise Oligosaccharid-Aldonsäuren besteht ein großes Einsatzpotential in der pharmazeutischen Industrie, der Kosmetik-Herstellung und in der Lebensmitteltechnologie. Aldonsäuren werden derzeit hauptsächlich mittels mikrobieller oder enzymatischer Umwandlung aus den entsprechenden Mono- oder Oligosacchariden hergestellt. So kann beispielsweise Glucose unter Verwendung von *Acetobacter methanolicus* in Gluconsäure umgewandelt werden. Die enzymatische Herstellung von Aldonsäuren ist jedoch generell durch eine relativ geringe Produktivität gekennzeichnet und auch aus Gründen des Umweltschutzes nicht unproblematisch. Daher besteht ein großes Interesse an alternativen Oxidationsverfahren, die zu einer deutlich geringeren Belastung der Umwelt führen, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat, beispielsweise ein Monosaccharid, unter Verwendung eines heterogenen Katalysators zu der entsprechenden Aldonsäure oxidiert wird.

Die heterogene Katalyse einer Oxidationsreaktion erfolgt üblicherweise in einem Drei-Phasen-Reaktor, wobei der feste, meist pulverförmige Katalysator in einer die zu oxidierende Verbindung enthaltenden Flüssigphase suspendiert ist und während der Reaktion Sauerstoff durch die Flüssigphase hindurchgeperlt wird. Obwohl die katalytische Oxidation im Vergleich zur enzymatischen Umsetzung einige erhebliche Vorteile bietet, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der erheblich geringeren Umweltverschmutzung, weist sie jedoch einen entscheidenden Nachteil auf. Bei Verwendung von Metallen kann die Disauerstoff-Aktivierung zu radikalischen Reaktio-

nen führen, die insbesondere im Fall polyfunktionaler Moleküle die Selektivität der Umsetzung deutlich senken können (Sheldon und Kochi, „Metal Catalyzed Oxidations of Organic Compounds“, 1981, Academic Press, New York).

Bislang am besten untersucht ist die Verwendung geträgerter Palladium- und Platin-Katalysatoren zur Oxidation von Glucose. Dabei hat sich herausgestellt, dass bei Verwendung dieser Katalysatoren die katalytische Umsetzung von Glucose zu Gluconsäure aufgrund der geringen Selektivität und Umsetzungsrate erheblich eingeschränkt ist. Auch kommt es zu einer relativ schnellen Deaktivierung beider Katalysator-Typen. Diese Deaktivierung beruht offensichtlich entweder auf einer Blockierung der Katalysator-Oberfläche aufgrund der Adsorption von Molekülen oder auf Disauerstoff-bedingten Vergiftungseffekten (Van Dam, Kieboom und van Bekkum, Appl. Catal., 33 (1990), 187). Einige der Faktoren, die die katalytische Umsetzung von Glucose zu Gluconsäure einschränken, lassen sich durch die Einführung von Promotoren wie Bismut oder Blei deutlich verbessern. Neben einer Verbesserung der Katalysator-Lebensdauer erhöhen sich dadurch insbesondere die Selektivität und die Umsetzungsrate der Reaktion (Fiege und Wedemeyer, Angew. Chem., 93 (1981), 812; Wenkin et al., Appl. Catal. A: General, 148 (1996), 181).

Pd und Bi werden aufgrund eines möglichen Leachings dieser toxikologisch bedenklichen Substanzen jedoch kontrovers diskutiert. Zur Erhöhung der Umsetzungsgeschwindigkeit und zur Vermeidung der Katalysator-

Deaktivierung sind leicht alkalische Bedingungen erforderlich. Unter solchen Bedingungen treten jedoch Nebenreaktionen auf, die die Gluconat-Produktion vermindern. Ebenfalls nachteilig ist,
5 dass bei Verwendung von Basen anstelle der freien Gluconsäure Gluconat erzeugt wird (Biella, Prati und Rossi, Journal of Catalysis, 206 (2002), 242-247).

Zur großtechnischen Produktion von Gluconsäure wird
10 daher nach wie vor dem Fermentationsprozess der Vorrang gegeben, trotz der bei diesem Verfahren auftretenden Probleme, beispielsweise der starken Abwasser-Verunreinigung und der nicht unerheblichen Bildung von Nebenprodukten. Aus diesem Grund ist es
15 erforderlich, neue Katalysator-Typen zu entwickeln, die eine katalytische Oxidation von Kohlenhydraten zur Herstellung von Aldonsäuren unter Verwendung von Disauerstoff als Oxidationsmittel ermöglichen und neben hoher Aktivität und Selektivität eine
20 lange Lebensdauer aufweisen.

Bislang wurden geträgerte Gold-Katalysatoren vor allem zur Oxidation von CO oder Propen in der Gasphase und für Selektivhydrierungen eingesetzt. Biella et al., Journal of Catalysis, 206 (2002)
25 242-247, beschreiben die Verwendung eines Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysators zur selektiven Oxidation von D-Glucose zu D-Gluconsäure in der Flüssigphase. Ein Vergleich zwischen dem Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysator und herkömmlichen
30 Palladium- und Platin-Katalysatoren zeigt, dass der Gold-Katalysator sowohl Palladium- als auch Platin-Katalysatoren in mehrfacher Hinsicht

überlegen ist. Im Vergleich zu Palladium- und Platin-Katalysatoren erweist sich der verwendete Gold-Katalysator insbesondere wesentlich stabiler gegenüber einer Deaktivierung. Ein weiterer Vorteil des verwendeten Gold-Katalysators besteht darin, dass dieser bei der Glucose-Umsetzung keine externe pH-Kontrolle erfordert. Die verwendeten Kohlenstoffgeträgerten Gold-Katalysatoren weisen jedoch einen erheblichen Nachteil auf. Einerseits wird mit abnehmendem pH-Wert vermehrt Gold aus dem Katalysator ausgelaugt. Andererseits wird mit steigendem pH-Wert das Wachstum der Goldpartikel gefördert. Beides führt zu einer Abnahme der Katalysator-Aktivität. Das mit steigendem pH-Wert zunehmende Auflösen von Goldpartikeln geht mit einer Vergrößerung der Goldpartikel einher. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass kleine Goldpartikel in Lösung gehen und sich dann das Gold an größeren Gold-Partikeln abscheidet, wobei es zu einer Reduktion von Au(I,III)-Partikeln kommt.

Das der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende technische Problem besteht darin, gegenüber den im Stand der Technik bekannten Katalysatoren verbesserte Gold-Katalysatoren bereitzustellen, die eine hohe Selektivität und Aktivität bezüglich der Oxidation von Kohlenhydraten zu den entsprechenden Aldonsäuren aufweisen und bei denen die im Stand der Technik bekannten Probleme von Gold-Katalysatoren, insbesondere der durch mehrfache Verwendung bedingte Aktivitätsabfall, dessen Ausmaß vom pH-Wert abhängig ist, nicht auftreten, so dass die Gold-Katalysatoren für die großtechnische Aldonsäure-Herstellung aus geeigneten Kohlenhydrat-

Ausgangsmaterialien eingesetzt werden können. Darüber hinaus sollen die verbesserten Gold-Katalysatoren für die Oxidation einer Vielzahl unterschiedlicher Kohlenhydrate zu den entsprechenden Aldonsäuren eingesetzt werden können.

Die vorliegende Erfindung löst das ihr zugrunde liegende technische Problem durch die Bereitstellung eines Verfahrens zur selektiven Oxidation von mindestens einem Kohlenhydrat, einem Kohlenhydrat-Gemisch oder eine diese(s) enthaltenden Zusammensetzung, wobei eine wässrige Lösung des Kohlenhydrates, des Gemisches oder der Zusammensetzung in Gegenwart eines Gold-Katalysators, umfassend nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Metalloxid-Träger, und von Sauerstoff, insbesondere Disauerstoff, umgesetzt wird.

Die erfindungsgemäß zur Kohlenhydrat-Oxidation eingesetzten Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren zeichnen sich dadurch aus, dass sie die selektive Oxidation einer Vielzahl von Kohlenhydraten, insbesondere solchen Kohlenhydraten, deren C1-Kohlenstoffatom eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe aufweist beziehungsweise mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe versehen werden kann, zu den entsprechenden Aldonsäuren ermöglichen. Gegenüber herkömmlichen Platin- und Palladiumkatalysatoren weisen die erfindungsgemäß verwendeten Gold-Katalysatoren eine bis zu einer Größenordnung höhere Aktivität bezüglich der selektiven Kohlenhydrat-Oxidation auf. Diese hohe Aktivität ist umso bemerkenswerter, als die Metallbeladung der Gold-Katalysatoren im Vergleich zu Platin- oder Palladium-Katalysatoren

erheblich geringer ist. Darüber hinaus weisen die erfindungsgemäß verwendeten Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren gegenüber Platin- und Palladium-Katalysatoren eine erheblich gesteigerte Selektivität bezüglich der Aldonsäure-Produktion auf, das heißt, dass die Selektivität auf andere Oxidationsprodukte deutlich reduziert ist. Während bei Verwendung von Platin- und Palladium-Katalysatoren stets ein Produkt-Gemisch erhalten wird, dass neben der gewünschten Aldonsäure eine Vielzahl anderer Oxidationsprodukte enthält, die auf die Oxidation von beispielsweise Alkohol-Gruppen zurückgehen, wird unter Verwendung der erfindungsgemäß eingesetzten Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren eine nahezu reine Aldonsäure erhalten, die keine anderen nachweisbaren Oxidationsprodukte oder nur äußerst geringe Mengen davon enthält. Die außerordentlich hohe Selektivität der erfindungsgemäß eingesetzten Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren ist vor allem darauf zurückzuführen, dass nur die Aldehyd-Gruppe des C1-Kohlenstoffatoms oxidiert wird, nicht jedoch Alkohol-Gruppen.

Gegenüber Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysatoren zeichnen sich die erfindungsgemäß eingesetzten Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren durch eine erheblich längere Lebensdauer aus. Während bei Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysatoren bereits nach ein- oder zweimaliger Verwendung eine relativ deutliche Aktivitätsabnahme beobachtet wurde (Biella et al., J. Catalysis, 206 (2002), 242-247), lassen sich die Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren mindestens 20-mal verwenden, ohne dass die Katalysator-Aktivität und Selektivität der

Oxidation in nennenswertem Umfang abnehmen. Die erfindungsgemäß eingesetzten Metalloxid-geträgerten Katalysatoren lassen sich daher in vorteilhafter Weise zur großtechnischen Herstellung von Aldonsäuren einsetzen. Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäß eingesetzten Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren besteht darin, dass sie zur Oxidation einer Vielzahl unterschiedlicher Kohlenhydrat-Ausgangssubstrate, beispielsweise Monosaccharide, Oligosaccharide oder Gemische davon, eingesetzt werden können. Vorteilhafterweise können sowohl Aldosen als auch Ketosen oxidiert werden.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einem „Katalysator“ ein Stoff verstanden, der die zum Ablauf einer bestimmten Reaktion benötigte Aktivierungsenergie herabsetzen und dadurch die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen kann, ohne im Endprodukt der Reaktion zu erscheinen. Unter einem „Gold-Katalysator“ wird ein Katalysator verstanden, der Gold auf einem Trägermaterial umfasst oder aus Gold auf einem Trägermaterial besteht, wobei das Gold in Form von dispers verteilten Nanopartikeln auf dem Träger vorliegt. Die Gold-Nanopartikel weisen einen Durchmesser von weniger als 20 nm, vorzugsweise < 10 nm und besonders bevorzugt < 5 nm auf.

Unter einem „Metalloxid-Träger“ wird im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung ein Katalysator-Träger verstanden, der aus mindestens einem Oxid eines Haupt- oder Nebengruppen-Metalls oder -Halbmetalls einschließlich Verbindungen, die mehr als ein Metall und/oder Halbmetall umfassen, be-

steht. Vorzugsweise handelt es sich dabei um Oxide von Metallen oder Halbmetallen der 2. Hauptgruppe des PSE wie MgO, CaO oder BaO, Oxide von Metallen oder Halbmetallen der 3. Hauptgruppe des PSE wie Al₂O₃ oder Lanthanoid-Oxide oder Oxide von Metallen oder Halbmetallen der 4. Hauptgruppe des PSE wie SiO₂, TiO₂, SnO₂ oder ZrO₂. Vorzugsweise handelt es sich bei den Verbindungen mit mehr als einem Metall und/oder Halbmetall um Silikate, insbesondere Alu-
mosilikate.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung eines Gold-Katalysators zur Oxidation von Kohlenhydraten, wobei der Katalysator nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Al₂O₃-Träger umfasst. Erfindungsgemäß enthält der Al₂O₃-geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold. Der erfindungsgemäß zur selektiven Oxidation von Kohlenhydraten eingesetzte Al₂O₃-geträgerte Gold-Katalysator enthält vorzugsweise Gold-Nanopartikel mit einem Durchmesser von < 10 nm, besonders bevorzugt < 6 nm und am bevorzugtesten von 1 bis 2 nm.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung eines Gold-Katalysators zur Oxidation von Kohlenhydraten, wobei der Katalysator nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem TiO₂-Träger umfasst. Erfindungsgemäß enthält der TiO₂-geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold, besonders bevorzugt 0,5 % Gold. Der erfindungsgemäß zur selektiven Kohlenhydrat-Oxidation verwendete TiO₂-geträgerte Gold-Katalysator enthält vorzugsweise

Gold-Nanopartikel mit einem Durchmesser von < 20 nm, besonders bevorzugt < 6 nm und am bevorzugtesten von 1 -4 nm.

5 Zur Herstellung der erfindungsgemäß verwendeten Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren, das heißt zur Abscheidung von Gold in Form von Nanopartikeln auf den Metalloxid-Trägermaterialien, können beispielsweise Fällungsverfahren eingesetzt werden, wobei das Gold in Form von oxidischen/hydroxischen
10 Gold-Präkursoren durch Fällung auf den Metalloxid-Träger abgeschieden oder gemeinsam mit einem Präcursor des Metalloxid-Trägers gefällt wird. Au kann auch in der Sol-Gel-Synthese des Trägers, beispielsweise eines Erdmetall- oder Übergangsmetall-oxids, eingebracht werden. Bekannt sind ebenfalls
15 das Imprägnieren mit Gold-Lösungen und die Trägereinbringung von Au-Kolloiden unter Verwendung verschiedener Polymere als Kolloid-Stabilisatoren. Geeignete Verfahren zur Herstellung Metalloxid-geträgerter
20 Gold-Katalysatoren umfassen beispielsweise Präzipitationsverfahren, Abscheidungs-Präzipitationsverfahren und Verfahren zur chemische Abscheidung aus der Gasphase (CVD-Verfahren) und sind unter anderem in Prati und Martra, Gold Bulletin, 32(3)
25 (1999), 96-101; Wolf und Schüth, Applied Catalysis A: General., 226 (2002), 1-13, sowie Berndt et al., Applied Catalysis A: General, 6442 (2003), 1-11, beschrieben, wobei der Offenbarungsgehalt dieser Druckschriften durch Bezugnahme vollständig in den
30 Offenbarungsgehalt der vorliegenden Erfindung einbezogen wird.

Erfindungsgemäß wird der zur Kohlenhydrat-Oxidation verwendete Metalloxid-geträgerte Katalysator in einer heterogenen Katalyse eingesetzt. Das heißt, der Katalysator liegt als Feststoff vor, während die zu
5 oxidierenden Kohlenhydrate in Flüssigphase, beispielsweise als wässrige Lösung, vorliegen. Der zur Kohlenhydrat-Oxidation eingesetzte Disauerstoff wird dann als Gas durch die flüssige Phase hindurchgeperlt und durch intensives Rühren in der
10 Flüssigphase verteilt und gelöst.

Zur erfindungsgemäßen selektiven Oxidation von Kohlenhydraten, Kohlenhydrat-Gemischen oder diese(s) enthaltenden Zusammensetzungen wird der Metalloxid-geträgerte Gold-Katalysator vorzugsweise in Form
15 eines Pulvers oder Granulats eingesetzt.

Unter der „selektiven Oxidation von Kohlenhydraten“ wird insbesondere die Oxidation einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe am C1-Kohlenstoffes eines Kohlenhydrats zu einer Carboxyl-Gruppe verstanden, wohingegen Alkohol-Gruppen an anderen Kohlenstoffatomen des Kohlenhydrates nicht oxidiert werden. Im Ergebnis der erfindungsgemäßen selektiven Oxidation des Kohlenhydrates wird daher vorzugsweise eine Aldonsäure erhalten. Im Zusammenhang mit der vorliegenden
20 Erfindung wird unter einer „Aldonsäure“ eine Zuckersäure verstanden, die durch Oxidation einer Aldehyd-Gruppe eines Kohlenhydrates zur Carboxyl-Gruppe erhalten wird. Aldonsäuren können unter Wasserabspaltung γ - oder δ -Lactone bilden. Freie Aldonsäuren liegen mit Lactonen im Gleichgewicht vor.
25
30

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung werden unter „Kohlenhydraten“ Polyhydroxyaldehyde und Polyhydroxyketone sowie höhermolekulare Verbindungen verstanden, die sich durch Hydrolyse in solche Verbindungen überführen lassen. Der Begriff „Kohlenhydrat“ umfasst auch Derivate, also Abkömmlinge eines Kohlenhydrates, die aus dem Kohlenhydrat in ein oder mehreren Reaktionsschritten gebildet werden. Bei den erfindungsgemäß eingesetzten Kohlenhydraten handelt es sich vorzugsweise um Aldosen, die am C1-Kohlenstoff eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe aufweisen, oder um 2-Ketosen, bei denen am C1-Kohlenstoffatom eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe eingeführt werden kann.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer „Aldose“ ein Kohlenhydrat verstanden, das eine Aldehyd-Gruppe (-CHO) und mindestens ein Asymmetriezentrum besitzt, wobei die Nummerierung der Aldose-Kette an dem Kohlenstoffatom, dass die Aldehyd-Gruppe enthält, beginnt. Durch die selektive Oxidation der Aldehyd-Gruppe einer Aldose wird eine Aldonsäure erhalten. Bei der selektiven Oxidation eines Gemisches von Aldosen wird daher ein Gemisch unterschiedlicher Aldonsäuren erhalten.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur Herstellung einer Aldonsäure oder eines Gemisches verschiedener Aldonsäuren durch selektive Oxidation einer oder mehrerer Aldosen mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe unter Verwendung eines Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysators.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer „Ketose“ ein Kohlenhydrat verstanden, dass eine Keto-Gruppe enthält. Befindet sich die Keto-Gruppe in 2-Stellung, handelt es sich um eine 2-Ketose. Ketosen zeigen infolge der Bildung von Anomeren Mutarotation. Obwohl sich Ketosen im Allgemeinen nicht oxidieren lassen, können 2-Ketosen in Aldosen überführt werden, wobei die 2-Ketose zunächst in die entsprechende Enol-Form überführt wird, die dann zu einer oxidierbaren Aldose isomerisiert wird, wobei die -OH-Gruppe am C1-Kohlenstoffatom zur Carbonyl-Gruppe wird und die ursprünglich am C2-Kohlenstoffatom vorhandene C=O-Gruppe zu einer HC-OH-Gruppe wird. Dabei verschiebt sich rein formal betrachtet die Carbonyl-Gruppe von der C₂- auf die C₁-Position.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher auch ein Verfahren zur Herstellung einer Aldonsäure oder eines Gemisches verschiedener Aldonsäuren unter Verwendung einer oder mehrerer 2-Ketosen, wobei die 2-Ketose(n) zunächst in die tautomere(n) Aldose-Form(en) mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe überführt und dann unter Verwendung eines Metall-oxid-geträgerten Gold-Katalysators selektiv oxidiert wird/werden.

Erfindungsgemäß umfassen die zu oxidierenden Kohlenhydrate sowohl monomere Polyhydroxyaldehyde oder Polyhydroxyketone, also Monosaccharide, deren Dimer bis Dekamere, das heißt Oligosaccharide wie Disaccharide, Trisaccharide etc., und die makromolekularen Polysaccharide. Unter „Monosacchariden“ werden im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfin-

- Verbindungen der allgemeinen chemischen Formel $C_nH_{2n}O_n$ mit 2 bis 6 Sauerstoff-Funktionen verstanden, wobei natürliche Monosaccharide im Wesentlichen Hexosen und Pentosen sind. Die Kohlenstoff-
- 5 Kette eines Monosaccharides kann unverzweigt oder verzweigt sein. Unter „Oligosacchariden“ werden Verbindungen verstanden, die durch Vereinigung von 2 bis 10 Monosaccharid-Moleküle unter Wasseraustritt erhalten werden und bei denen es sich um Gly-
- 10 koside oder Ether handelt. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung werden unter „Polysacchariden“ im Wesentlichen zwei Gruppen von Substanzen verstanden, nämlich einerseits Verbindungen, die als Gerüststoffe für Pflanzen und einige Tiere die-
- 15 nen, und andererseits Verbindungen, die als Reservestoffe für einfache Kohlenhydrate dienen und bei Bedarf im Organismus durch bestimmte Enzyme freigesetzt werden. Polysaccharide umfassen sowohl Homoglykane als auch Heteroglykane.
- 20 Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einem „Kohlenhydrat-Gemisch“ ein Gemisch aus zwei oder mehr chemisch verschiedenen Kohlenhydraten verstanden, das vorzugsweise keine anderen Bestandteile außer Kohlenhydraten enthält und das ohne
- 25 vorherige chemische Reaktion gebildet wird. Bei dem zu oxidierenden Kohlenhydrat-Gemisch kann es sich sowohl um ein homogenes Gemisch als auch ein heterogenes Gemisch handeln. Ein heterogenes Gemisch besteht aus mindestens zwei Phasen, die die
- 30 Kohlenhydrat-Einzelkomponenten enthalten oder die aus den Kohlenhydrat-Einzelkomponenten bestehen. Ein homogenes Gemisch ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kohlenhydrat-Einzelkomponenten untereinander

der molekular dispers verteilt sind, ohne dass zwischen den Einzelkomponenten eine Grenzflächen besteht, wobei die Kohlenhydrat-Einzelkomponenten in beliebigen Mengenverhältnissen vorliegen können.

- 5 Liegt das zu oxidierende Gemisch nicht in flüssiger Form vor beziehungsweise enthält das zu oxidierende Gemisch eine feste Phase, so wird das Gemisch erfindungsgemäß vor der selektiven Oxidation beispielsweise durch Herstellen einer wässrigen Lösung
10 in die Flüssigphase überführt.

Eine Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung eines zu oxidierenden Kohlenhydrat-Gemisches als Ausgangssubstrat, bei dem mindestens ein Kohlenhydrat-Bestandteil ein C1-Kohlenstoffatom
15 mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe enthält beziehungsweise bei dem vor der selektiven Oxidation das C1-Kohlenstoffatom mindestens eines Kohlenhydrat-Bestandteils mit einer oxidierbaren Aldehyd-Funktion versehen werden kann.

- 20 Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung eines zu oxidierenden Kohlenhydrat-Gemisches als Ausgangssubstrat, bei dem entweder mehrere, besonders bevorzugt alle Kohlenhydrat-Bestandteile ein C1-Kohlenstoffatom mit einer
25 oxidierbaren Aldehyd-Gruppe enthalten oder bei dem vor der Oxidation das C1-Kohlenstoffatom mehrerer, besonders bevorzugt aller Kohlenhydrat-Bestandteile mit einer oxidierbaren Aldehyd-Funktion versehen werden kann. Das zu oxidierende Kohlenhydrat-
30 Gemisch enthält also vorzugsweise mehrere Kohlenhydrate, die entweder an ihrem C1-Kohlenstoff bereits eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe aufweisen o-

der an deren C1-Kohlenstoffatom vor der selektiven Oxidation eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe eingeführt werden kann. In dieser Ausführungsform kann das zu oxidierende Kohlenhydrat-Gemisch also mehrere unterschiedliche Aldosen und/oder 2-Ketosen umfassen. Besonders bevorzugt besteht das zu oxidierende Kohlenhydrat-Gemisch ausschließlich aus Kohlenhydrat-Einzelkomponenten, die entweder an ihrem C1-Kohlenstoff bereits eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe aufweisen oder an deren C1-Kohlenstoffatom vor der Oxidation eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe eingeführt werden kann. In dieser Ausführungsform besteht das zu oxidierende Kohlenhydrat-Gemisch also ausschließlich aus unterschiedlichen Aldosen und/oder 2-Ketosen.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer „mindestens ein Kohlenhydrat oder ein Kohlenhydrat-Gemisch enthaltenden Zusammensetzung“ ein Gemisch unterschiedlicher chemischer Verbindungen verstanden, wobei mindestens ein Bestandteil der Zusammensetzung ein Kohlenhydrat ist, dessen C1-Kohlenstoffatom eine freie Aldehyd-Gruppe aufweist beziehungsweise vor der Oxidation mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe versehen werden kann. Bei den anderen Bestandteilen der zu oxidierenden Zusammensetzung kann es sich beispielsweise um andere, nicht-oxidierbare Kohlenhydrate, Eiweißstoffe, Pektine, Säuren, Fette, Salze, Aromastoffe wie Vanillin oder Furfurale, etc. oder Gemische davon handeln. Die zu oxidierende Zusammensetzung kann selbstverständlich mehrere unterschiedliche Aldosen und/oder 2-Ketosen umfassen.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher die selektive Oxidation eines Kohlenhydrates, eines Gemisches unterschiedlicher Kohlenhydrate oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung unter Verwendung eines Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysators, wobei es sich bei den Kohlenhydraten vorzugsweise um Monosaccharide oder Oligosaccharide handelt.

In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung ist das zu oxidierende Monosaccharid eine Aldose wie Glucose, Galactose, Mannose, Xylose oder Ribose. Bei der Oxidation von Glucose wird unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens Gluconsäure als Oxidationsprodukt erhalten. Bei der Oxidation von Galactose wird unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens Galactonsäure als Oxidationsprodukt erhalten.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem zu oxidierenden Kohlenhydrat um ein Oligosaccharid, insbesondere um ein Disaccharid. Das zu oxidierende Disaccharid ist vorzugsweise eine Disaccharid-Aldose wie Maltose, Lactose, Cellobiose oder Isomaltose. Erfindungsgemäß wird bei der selektiven Oxidation von Maltose unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens Maltobionsäure als Oxidationsprodukt erhalten. Unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird bei der Lactose-Oxidation Lactobionsäure als Oxidationsprodukt erhalten.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird als zu oxidierendes

Oligosaccharid eine Disaccharid-Ketose eingesetzt. Bei der zu oxidierenden Disaccharid-Ketose handelt es sich vorzugsweise um Palatinose (Isomaltulose). Vor der Oxidation wird Palatinose erfindungsgemäß
5 in die tautomere Aldose-Form überführt, die dann oxidiert wird.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich bei dem zu oxidierenden Kohlenhydrat um ein Maltodextrin. Maltodextrine sind durch den enzymatischen Stärkeabbau
10 gewonnene wasserlösliche Kohlenhydrate, insbesondere Dextrose-Äquivalente, mit einer Kettenlänge von 2 bis 30, vorzugsweise 5 bis 20 Anhydroglucose-Einheiten und einem Anteil an Maltose. Bei der selektiven Oxidation von Maltodextrin wird unter Ver-
15 wendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Oxidationsprodukt erhalten, das erfindungsgemäß entsprechend der Zusammensetzung neben den Oligosaccharid-Aldonsäuren einen Anteil von Maltobionsäure und
20 Gluconsäure aufweist.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform ist das zu oxidierende Kohlenhydrat-Gemisch beziehungsweise die zu oxidierende Kohlenhydrat-Zusammensetzung ein Stärkesirup. Unter einem
25 Stärkesirup wird Glucosesirup verstanden, der aus Stärke gewonnen wird und als gereinigte wässrige Lösung vorliegt, wobei die Trockenmasse mindestens 70 % beträgt.

In einer weiteren Ausführungsform handelt es sich
30 bei dem zu oxidierenden Kohlenhydrat um ein Furfural. Das zu oxidierende Furfural ist vorzugsweise

Hydroxymethylfurfural (HMF) oder Glycosyloxymethylfurfural (GMF).

In bevorzugter Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur selektiven Kohlenhydrat-Oxidation wird eine wässrige Lösung des zu oxidierenden Kohlenhydrates, Kohlenhydrat-Gemisches oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung hergestellt, die das Kohlenhydrat oder das Kohlenhydrat-Gemisch in einer Menge von mindestens etwa 10 mmol/l, bevorzugter mindestens etwa 100 mmol/l, 150 mmol/l, 200 mmol/l oder 250 mmol/l und am bevorzugtesten mindestens etwa 1000 mmol/l oder 1500 mmol/l enthält. Anschließend wird der wässrigen Kohlenhydrat-Lösung der vorzugsweise pulverförmige Metalloxid-geträgerte Gold-Katalysator in einer Menge von etwa 100 mg/l bis 10 g/l zugesetzt, wobei vorzugsweise pro Liter etwa 1 g Katalysator eingesetzt werden. Erfindungsgemäß beträgt das Verhältnis zwischen der Menge des/der zu oxidierenden Kohlenhydrat(s) oder des Kohlenhydrat-Gemisches und der Menge des auf dem Metalloxid-Trägers enthaltenen Goldes mindestens etwa 300, bevorzugter mehr als 350, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 oder 4000 und am bevorzugtesten mehr als 9000, 10 000, 15 000, 20 000, 25 000, 30 000, 35 000 oder 40 000.

In bevorzugter Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur selektiven Kohlenhydrat-Oxidation wird die selektive Oxidation des mindestens einen Kohlenhydrates, des Kohlenhydrat-Gemisches oder der diese(s) enthaltenden Zusammensetzung bei einem pH-Wert von 7 bis 11, vorzugsweise 8 bis 10, durchgeführt. Zur Durchführung der

Kohlenhydrat-Oxidation wird erfindungsgemäß eine Temperatur von 20°C bis 140°C, vorzugsweise 40°C bis 90°C, besonders bevorzugt 50°C bis 80°C eingesetzt. Erfindungsgemäß beträgt der Druck etwa 1 bar bis
5 etwa 25 bar. Während der Oxidation wird erfindungsgemäß Sauerstoff und/oder Luft mit einer Begasungsrate von $100 \text{ ml}/(\text{min} \times L_{\text{Reaktorvolumen}})$ bis $10000 \text{ ml}/(\text{min} \times L_{\text{Reaktorvolumen}})$, vorzugsweise von $500 \text{ ml}/(\text{min} \times L_{\text{Reaktorvolumen}})$, durch die wässrige Lösung
10 des Kohlenhydrates, des Gemisches oder der Zusammensetzung hindurchgeperlt.

Das der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende technische Problem wird auch durch ein Verfahren zur selektiven Oxidation von mindestens einem Oligosaccharid, einem Gemisch davon oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung gelöst, wobei eine wässrige Lösung des Oligosaccharides, des Gemisches oder der Zusammensetzung in Gegenwart eines Gold-Katalysators, umfassend nanodispers verteilte
15 Gold-Partikel auf einem Träger, und von Sauerstoff umgesetzt wird.
20

Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass zur selektiven Oxidation von Oligosacchariden ein Gold-Katalysator eingesetzt wird, der nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Träger umfasst, wobei der Träger entweder ein Metalloxid-Träger oder ein Kohlenstoff-Träger ist.
25

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zur selektiven Oxidation eines Oligosaccharides, eines Oligosaccharid-Gemisches oder einer die-
30

se(s) enthaltenden Zusammensetzung ein Kohlenstoff-geträgerter Gold-Katalysator eingesetzt.

Unter einem „Kohlenstoff-Träger“ wird im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung insbesondere ein Aktivkohle-Träger verstanden. Die erfindungsgemäß eingesetzten Kohlenstoff-geträgerte Gold-Katalysatoren werden vorzugsweise unter Verwendung des Incipient-Wetness-Verfahrens oder über Gold-Sole hergestellt. Geeignete Verfahren zur Herstellung Kohlenstoff-geträgerter Gold-Katalysatoren, umfassen insbesondere geeignete Tränkungstechniken und Goldkolloid-Trägerung, beispielsweise unter Verwendung spezifischer Polymeren. Geeignete Verfahren zur Herstellung Kohlenstoff-geträgerter Gold-Katalysatoren sind beispielsweise in Prati und Martra, Gold Bulletin, 32(3) (1999), 96-101, beschrieben, wobei der Offenbarungsgehalt dieser Druckschrift durch Bezugnahme vollständig in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Erfindung einbezogen wird. Die erfindungsgemäß eingesetzten Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysatoren weisen insbesondere Gold-Nanopartikel mit einem Durchmesser von weniger als 20 nm, vorzugsweise < 10 nm, besonders bevorzugt < 6 nm und am bevorzugtesten < 2 nm auf. Erfindungsgemäß enthalten die Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysatoren etwa 0,1 % bis 5 %, Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1,0 % Gold, besonders bevorzugt 0,5 % Gold.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zur selektiven Oxidation eines Oligosaccharides, eines Oligosaccharid-Gemisches oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung erfin-

dungsgemäß ein Metalloxid-geträgerter Gold-Katalysator eingesetzt. Unter einem „Metalloxid-Träger“ wird ein Katalysator-Träger verstanden, der aus mindestens einem Oxid eines Haupt- oder Nebengruppen-Metalls oder -Halbmetalls einschließlich Verbindungen, die mehr als ein Metall und/oder Halbmetall umfassen, besteht. Vorzugsweise handelt es sich dabei um Oxide von Metallen oder Halbmetallen der 2. Hauptgruppe des PSE wie MgO , CaO oder BaO , Oxide von Metallen oder Halbmetallen der 3. Hauptgruppe des PSE wie Al_2O_3 oder Lanthanoid-Oxide oder Oxide von Metallen oder Halbmetallen der 4. Hauptgruppe des PSE wie SiO_2 , TiO_2 , SnO_2 oder ZrO_2 . Vorzugsweise handelt es sich bei den Verbindungen mit mehr als einem Metall und/oder Halbmetall um Silikate, insbesondere Alumosilikate.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Al_2O_3 -geträgerter Gold-Katalysator eingesetzt. Erfindungsgemäß enthält der Al_2O_3 -geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold, besonders bevorzugt 0,5 % Gold.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein TiO_2 -geträgerter Gold-Katalysator eingesetzt. Erfindungsgemäß enthält der TiO_2 -geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold.

Zur Herstellung der erfindungsgemäß zur Oligosaccharid-Oxidation verwendeten Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysatoren können insbesondere Fällungsverfahren eingesetzt werden, wobei die Goldpartikel

durch Fällung auf den Metalloxid-Träger abgeschieden oder gemeinsam mit einem Precursor des Metalloxid-Trägers gefällt werden. Besonders geeignet sind Präzipitationsverfahren, Abscheidungs-
5 Präzipitations-Verfahren und Verfahren zur chemische Abscheidung aus der Gasphase (CVD-Verfahren).

Erfindungsgemäß wird der zur selektiven Oligosaccharid-Oxidation verwendete Kohlenstoff- oder Metalloxid-geträgerte Gold-Katalysator in Flüssigphase eingesetzt, wobei der Katalysator als Feststoff vorliegt, während die Oligosaccharide in Flüssigphase vorhanden sind. Der zur Oxidation eingesetzte Disauerstoff wird als Gas durch die Flüssigphase hindurchgeperlt und durch intensives Rühren in der
10 Flüssigphase gelöst. Der Kohlenstoff- oder Metalloxid-geträgerte Gold-Katalysator wird vorzugsweise in Form eines Pulvers oder Granulats eingesetzt.

Unter „Oligosacchariden“ werden im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung Verbindungen verstanden,
20 die durch Vereinigung von 2 bis 10 Monosaccharid-Molekülen unter Wasseraustritt erhalten werden und bei denen es sich um Glykoside oder Ether handelt. Der Begriff „Oligosaccharid“ umfasst auch Derivate, also Abkömmlinge eines Oligosaccharides, die aus
25 einem Oligosaccharid in ein oder mehreren Reaktionsschritten gebildet werden. Erfindungsgemäß bevorzugt handelt es sich bei den zu oxidierenden Oligosacchariden insbesondere um Disaccharide, Trisaccharide etc.. Die zu oxidierenden Oligosaccharide
30 enthalten an ihrem C1-Kohlenstoffatom eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe, die durch die Oxidation in

eine Carboxy-Gruppe überführt wird. Hingegen werden Alkohol-Gruppen der Oligosaccharide nicht oxidiert.

Bei den erfindungsgemäß eingesetzten Oligosacchariden kann es sich um Oligosaccharid-Aldosen handeln, die am C1-Kohlenstoff eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe aufweisen, oder um Oligosaccharide in 2-Ketose-Form, bei denen am C1-Kohlenstoffatom eine oxidierbare Aldehyd-Funktion eingeführt werden kann.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer „Oligosaccharid-Aldose“ ein Oligosaccharid verstanden, das am C1-Kohlenstoff eine Aldehyd-Gruppe (-CHO) besitzt. Durch die selektive Oxidation der Aldehyd-Gruppe einer Oligosaccharid-Aldose wird eine Oligosaccharid-Aldonsäure erhalten. Unter einer „Oligosaccharid-Aldonsäure“ wird eine Oligosaccharidsäure verstanden, die durch Oxidation einer Aldehyd-Gruppe eines Oligosaccharides zur Carboxy-Gruppe erhalten wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur Herstellung einer Oligosaccharid-Aldonsäure oder eines Gemisches verschiedener Oligosaccharid-Aldonsäuren durch selektive Oxidation einer oder mehrerer Oligosaccharid-Aldosen mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe unter Verwendung eines Kohlenstoff- oder Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysators.

Unter einer „2-Ketose“ wird ein Oligosaccharid verstanden, dass eine in 2-Stellung befindliche Keto-Gruppe besitzt. In 2-Ketose-Form vorliegende Oligo-

saccharide können in Oligosaccharid-Aldosen überführt werden, wobei die 2-Ketose zunächst in die Enol-Form überführt wird, die dann zu der oxidierbaren Oligosaccharid-Aldose tautomerisiert wird.

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft daher auch ein Verfahren zur Herstellung einer Oligosaccharid-Aldonsäure oder eines Gemisches verschiedener Oligosaccharid-Aldonsäuren unter Verwendung einer oder mehrerer Oligosaccharide in 2-Ketose-Form, wobei
10 die 2-Ketose(n) zunächst in die tautomere(n) Oligosaccharid-Aldose-Form(en) mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe überführt werden, die dann unter Verwendung eines Kohlenstoff- oder Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysators selektiv oxidiert
15 wird/werden.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einem „Oligosaccharid-Gemisch“ ein Gemisch aus zwei oder mehr chemisch verschiedenen Oligosacchariden verstanden. Das zu oxidierende Oligosaccharid-Gemisch enthält in bevorzugter Ausführungs-
20 außer Oligosacchariden keine anderen Bestandteile. Bei dem zu oxidierenden Oligosaccharid-Gemisch kann es sich sowohl um ein homogenes Gemisch als auch ein heterogenes Gemisch handeln. Liegt das zu oxidierende Oligosaccharid-Gemisch nicht in flüssiger Form vor beziehungsweise enthält das zu oxidierende Oligosaccharid-Gemisch eine feste Phase, so wird das Gemisch vor der selektiven Oxidation in die Flüssigphase überführt, beispielsweise durch Her-
25 stellen einer wässrigen Lösung.
30

- Eine Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung eines zu oxidierenden Oligosaccharid-Gemisches als Ausgangssubstrat, bei dem mindestens ein Oligosaccharid-Bestandteil ein C1-Kohlenstoffatom mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe enthält beziehungsweise bei dem vor der selektiven Oxidation das C1-Kohlenstoffatom mindestens eines Oligosaccharid-Bestandteils mit einer oxidierbaren Aldehyd-Funktion versehen werden kann.
- 10 Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung betrifft die Verwendung eines zu oxidierenden Oligosaccharid-Gemisches als Ausgangssubstrat, wobei das zu oxidierende Gemisch vorzugsweise mehrere Oligosaccharide enthält, die entweder an ihrem C1-Kohlenstoff bereits eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe aufweisen oder an deren C1-Kohlenstoffatom vor der selektiven Oxidation eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe eingeführt werden kann. In dieser Ausführungsform kann das zu oxidierende Oligosaccharid
- 15 also mehrere unterschiedliche Oligosaccharid-Aldosen und/oder Oligosaccharide in 2-Ketose-Form umfassen. Besonders bevorzugt besteht das zu oxidierende Oligosaccharid-Gemisch ausschließlich aus Oligosaccharid-Einzelkomponenten, die entweder an
- 20 ihrem C1-Kohlenstoff bereits eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe aufweisen oder an deren C1-Kohlenstoffatom vor der selektiven Oxidation eine oxidierbare Aldehyd-Gruppe eingeführt werden kann. In dieser Ausführungsform besteht das zu oxidierende Oligosaccharid also ausschließlich aus unterschiedlichen Oligosaccharid-Aldosen und/oder Oligosacchariden in 2-Ketose-Form.
- 25
- 30

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird unter einer „mindestens ein Oligosaccharid oder ein Oligosaccharid-Gemisch enthaltenden Zusammensetzung“ ein Gemisch unterschiedlicher chemischer Verbindungen verstanden, wobei mindestens ein Bestandteil der Zusammensetzung ein Oligosaccharid ist, dessen C1-Kohlenstoffatom eine freie Aldehyd-Gruppe aufweist beziehungsweise vor der selektiven Oxidation mit einer oxidierbaren Aldehyd-Gruppe versehen werden kann. Bei den anderen Bestandteilen der zu oxidierenden Zusammensetzung kann es sich beispielsweise um andere Kohlenhydrate, beispielsweise nicht-oxidierbare oder selektiv oxidierbare Monosaccharide, Eiweißstoffe, Pektine, Säuren, Fette, Salze, Aromastoffe etc. handeln. Die zu oxidierende Zusammensetzung kann selbstverständlich mehrere unterschiedliche Oligosaccharid-Aldosen und/oder Oligosaccharide in 2-Ketose-Form enthalten.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem zu oxidierenden Oligosaccharid um ein Disaccharid. Das zu oxidierende Disaccharid kann eine Disaccharid-Aldose wie Maltose, Lactose, Cellobiose oder Isomaltose sein. Erfindungsgemäß wird bei der selektiven Oxidation von Maltose unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens Maltobionsäure als Oxidationsprodukt erhalten. Unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird bei der Lactose-Oxidation Lactobionsäure als Oxidationsprodukt erhalten.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird als zu oxidierendes Oligosaccharid eine Disaccharid-Ketose eingesetzt.

Bei der zu oxidierenden Disaccharid-Ketose handelt es sich vorzugsweise um Palatinose. Vor der Oxidation wird Palatinose erfindungsgemäß in die tautomere Aldose-Form überführt, die dann oxidiert wird.

5 In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich bei dem zu oxidierenden Oligosaccharid-Gemisch beziehungsweise der zu oxidierenden Oligosaccharid-haltigen Zusammensetzung um ein Maltodextrin. Bei der selektiven
10 Oxidation von Maltodextrin wird unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Oxidationsprodukt erhalten, das erfindungsgemäß einen Anteil von Maltobionsäure und Gluconsäure aufweist.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform ist die zu oxidierende Oligosaccharid-
15 haltige Zusammensetzung ein Stärkesirup.

In bevorzugter Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur selektiven Kohlenhydrat-Oxidation wird eine wässrige Lösung des zu oxidierenden Oligosaccharides, Oligosaccharid-Gemisches
20 oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung hergestellt, die das Oligosaccharid oder das Oligosaccharid-Gemisch in einer Menge von mindestens etwa 10 mmol/l, bevorzugter mindestens etwa 100
25 mmol/l, 150 mmol/l, 200 mmol/l oder 250 mmol/l und am bevorzugtesten mindestens etwa 1000 mmol/l oder 1500 mmol/l enthält. Anschließend wird der wässrigen Oligosaccharid-Lösung der vorzugsweise pulverförmige Kohlenstoff- oder Metalloxid-geträgerte
30 Gold-Katalysator in einer Menge von etwa 100 mg/l bis 10 g/l zugesetzt, wobei vorzugsweise pro Liter

etwa 1 g Katalysator eingesetzt werden. Erfindungsgemäß beträgt das Verhältnis zwischen der Menge des/der zu oxidierenden Oligosaccharide(s) oder des Oligosaccharid-Gemisches und der Menge des auf dem Metalloxid-Trägers oder Kohlenstoff-Trägers enthaltenen Goldes mindestens etwa 300, bevorzugter mehr als 350, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 oder 4000 und am bevorzugtesten mehr als 9000, 10 000, 15 000, 20 000, 25 000, 30 000, 35 000 oder 40 000.

In bevorzugter Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur selektiven Oligosaccharid-Oxidation wird die selektive Oxidation des mindestens einen Oligosaccharides, des Oligosaccharid-Gemisches oder der diese(s) enthaltenden Zusammensetzung bei einem pH-Wert von 7 bis 11, vorzugsweise 8 bis 10, durchgeführt. Zur Durchführung der Kohlenhydrat-Oxidation wird erfindungsgemäß eine Temperatur von 20°C bis etwa 140°C, vorzugsweise 40°C bis 90°C, besonders bevorzugt 50°C bis 80°C eingesetzt. Erfindungsgemäß beträgt der Druck etwa 1 bar bis etwa 25 bar. Während der Oxidation wird erfindungsgemäß Sauerstoff und/oder Luft mit einer Begasungsrate von 100 ml/(min x $L_{\text{Reaktorvolumen}}$) bis 10000 ml/(min x $L_{\text{Reaktorvolumen}}$) vorzugsweise von 500 ml/(min x $L_{\text{Reaktorvolumen}}$), durch die wässrige Lösung des Oligosaccharides, des Gemisches oder der Zusammensetzung hindurchgeperlt.

Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls die unter Verwendung der erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Oxidationsprodukte, die entweder durch selektive Oxidation von mindestens einem Koh-

lenhydrat, einem Kohlenhydrat-Gemisch oder einer diese(s) enthaltende Zusammensetzung unter Verwendung eines Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysators oder durch selektive Oxidation von mindestens einem
5 Oligosaccharid, einem Oligosaccharid-Gemisch oder eine diese(s) enthaltende Zusammensetzung unter Verwendung eines Kohlenstoff- oder Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysators erhalten werden. Je nach verwendetem Ausgangsmaterial kann es sich bei
10 den erfindungsgemäß hergestellten Oxidationsprodukten entweder um eine Aldonsäure, ein Gemisch unterschiedlicher Aldonsäuren oder eine Zusammensetzung handeln, die neben Bestandteilen wie Fetten, Pektinen, Eiweißstoffen, Salzen, -Aromastoffen etc. ein
15 oder mehrere Aldonsäuren umfasst. Insbesondere wenn als Edukt ein einziges Kohlenhydrat eingesetzt wird, weisen die erfindungsgemäß erhaltenen Oxidationsprodukte aufgrund der außerordentlich hohen Selektivität der erfindungsgemäß verwendeten Gold-
20 Katalysatoren eine sehr hohe Reinheit auf. Die erfindungsgemäß erhaltenen Oxidationsprodukte zeichnen sich gegenüber herkömmlichen Produkten auch dadurch aus, dass sie frei von möglicherweise gesundheitsschädlichen mikrobiellen Stoffwechselprodukten
25 sind.

In bevorzugter Ausführungsform handelt es sich bei dem Oxidationsprodukt um Gluconsäure, die durch selektive Oxidation von Glucose erhältlich ist. Die erfindungsgemäß erhaltene Gluconsäure zeichnet sich
30 durch eine hohe Reinheit aus, wobei der Anteil von Gluconsäure am Gesamtoxidationsprodukt mehr als 95%, vorzugsweise mehr als 97%, bevorzugter mehr als 98% und am bevorzugtesten mehr als 99% beträgt.

Die unter Verwendung der erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Gluconsäure kann, gegebenenfalls nach weiteren Aufreinigungsschritten unter Verwendung geeigneter Verfahren wie chromatographischer Verfahren, als Zusatz zu Lebensmitteln, Getränken oder Tierfutter, für kosmetische Anwendungen, pharmazeutische Anwendungen oder als Detergens, beispielsweise in Reinigungsmitteln, eingesetzt werden. Gluconsäure besitzt beispielsweise hervorragende Eigenschaften als Antioxidationsmittel. Ferner ist bekannt, dass Gluconsäure ein hervorragendes Mittel zur Hautpflege darstellt.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher die Verwendung der unter Einsatz der erfindungsgemäßen Oxidationsverfahren hergestellten Gluconsäure als Zusatz für Lebensmittel oder Tierfuttermittel sowie zur Herstellung pharmazeutischer Zusammensetzungen, kosmetischer Zusammensetzungen und Detergenzien.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Oxidationsprodukt um Maltobionsäure, die durch selektive Oxidation von Maltose erhältlich ist. Die erfindungsgemäß erhaltene Maltobionsäure zeichnet sich durch eine hohe Reinheit aus, wobei der Anteil von Maltobionsäure am Gesamt-oxidationsprodukt mehr als 95%, vorzugsweise mehr als 97%, bevorzugter mehr als 98% und am bevorzugtesten mehr als 99% beträgt.

Die unter Verwendung der erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Maltobionsäure kann, gegebenenfalls nach weiteren Aufreinigungsschritten, als Zusatz zu Lebensmitteln, Getränken oder Tierfutter

oder für pharmazeutische Anwendungen eingesetzt werden. Maltobionsäure kann beispielsweise nach Aufreinigung mittels Ionenaustausch-Chromatographie in die Lacton-Form überführt und dann beispielsweise mit 1,3-Diamino-2-propanal kondensiert werden, wobei das Bisamid von Maltobionsäure erhalten wird. Das Bisamid von Maltobionsäure kann als oral applizierbares Antikoagulant und/oder als Antithrombolytikum eingesetzt werden.

10 Die vorliegende Erfindung betrifft daher die Verwendung der unter Einsatz der erfindungsgemäßen Oxidationsverfahren hergestellten Maltobionsäure als Zusatz für Lebensmittel oder Tierfuttermittel und zur Herstellung pharmazeutischer Zusammensetzungen.

15 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem erfindungsgemäß erhaltenen Oxidationsprodukt um Lactobionsäure, die durch Oxidation von Lactose erhältlich ist. Die erfindungsgemäß erhaltene Lactobionsäure zeichnet sich durch
20 eine hohe Reinheit aus, wobei der Anteil von Lactobionsäure am Gesamtoxidationsprodukt mehr als 95%, vorzugsweise mehr als 97, bevorzugter mehr als 98% und am bevorzugtesten mehr als 99% beträgt.

Die unter Verwendung der erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Lactobionsäure kann, gegebenenfalls nach weiteren Aufreinigungsschritten, als Zusatz zu Lebensmitteln, Getränken oder Tierfutter und für kosmetische Anwendungen sowie pharmazeutische Anwendungen eingesetzt werden. Aufgrund ihrer
25 hygroscopischen Eigenschaften kann Lactobionsäure
30 atmosphärisches Wasser binden, so dass Lactobion-

säure eine natürliche Gelmatrix bildet. Die so gebildete Gelmatrix enthält etwa 14% Wasser. Aufgrund ihrer Fähigkeit, eine solche Gelmatrix zu bilden, stellt Lactobionsäure wie Gluconsäure ein hervorragendes Mittel zur Hautpflege dar. Lactobionsäure weist ferner hervorragende Eigenschaften zur Metallchelate-Bildung auf und lässt sich daher zur Herstellung einer Transplantationslösung, beispielsweise der Wisconsin-Transplantationslösung, einsetzen, die zum Transport und zur Aufbewahrung von zu transplantierenden Organen dient. Lactobionsäure lässt sich auch als Cobuilder in Waschpulver einsetzen, wobei das Waschpulver bis zu 40% Lactobionsäure enthalten kann. Da Lactobionsäure einen milden süß-sauren Geschmack aufweist, kann sie ebenfalls zur Herstellung von Lebensmitteln und Tierfutter eingesetzt werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher die Verwendung der unter Einsatz der erfindungsgemäßen Oxidationsverfahren hergestellten Lactobionsäure zur Herstellung von Lebensmitteln, Tierfutter, kosmetischen Zusammensetzungen, pharmazeutischen Präparaten und Waschpulver.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem erfindungsgemäß erhaltenen Oxidationsprodukt um ein Produktgemisch, das einen hohen Anteil von Gluconsäure und Maltobionsäure enthält und durch Oxidation von Maltodextrin erhältlich ist.

Das durch selektive Maltodextrin-Oxidation erhaltene Maltobionsäure- und Gluconsäure-haltige Oxidati-

onsprodukt kann, gegebenenfalls nach weiteren Auf-
reinigungsschritten, insbesondere zur weiteren An-
reicherung von Maltobionsäure und Gluconsäure, ins-
besondere zur Herstellung von Lebensmitteln und
5 pharmazeutischen Zusammensetzungen eingesetzt wer-
den.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher auch die
Verwendung des unter Einsatz der erfindungsgemäßen
Oxidationsverfahren erhaltenen Maltodextrin-
10 Oxidationsproduktes zur Herstellung von Lebensmit-
teln, pharmazeutischen Präparaten und kosmetischen
Zusammensetzungen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform han-
delt es sich bei dem erfindungsgemäß erhaltenen O-
xidationsprodukt, um ein Produkt, dass einen hohen
15 Anteil an Maltobionsäure aufweist und durch selek-
tive Oxidation eines Stärkesirups erhältlich ist.
Das bei der Oxidation von Stärkesirup erhaltene O-
xidationsprodukt kann insbesondere zur Herstellung
20 von Lebensmitteln und Tierfutter eingesetzt werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls die
Verwendung eines Gold-Katalysators, umfassend nano-
dispers verteilte Gold-Partikel auf einem Metall-
oxid-Träger, zur selektiven Oxidation von mindes-
25 tens einem Kohlenhydrat, einem Kohlenhydrat-Gemisch
oder eine diese(s) enthaltenden Zusammensetzung.
Bei dem zur selektiven Oxidation von einem Kohlen-
hydrat, dem Gemisch oder einer diese enthaltende
Zusammensetzung handelt es sich erfindungsgemäß be-
vorzugt um einen Gold-Katalysator, dessen Träger
30 ein TiO_2 -Träger ist. Der erfindungsgemäß verwendete

Gold-Katalysator mit dem TiO_2 -Träger enthält etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold, besonders bevorzugt 0,5 % Gold. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst der erfindungsgemäß verwendete Gold-Katalysator einen Al_2O_3 -Träger. Der erfindungsgemäß verwendete Gold-Katalysator mit dem Al_2O_3 -Träger enthält etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold. Bei dem zu oxidierenden Kohlenhydrat kann es sich sowohl um eine Kohlenhydrat-Aldose als auch um ein Kohlenhydrat in 2-Ketose-Form handeln. Das zu oxidierende Kohlenhydrat kann ein Monosaccharid, ein Oligosaccharid, ein Gemisch davon oder eine diese(s) enthaltenden Zusammensetzung sein. Wenn das zu oxidierende Monosaccharid Glucose ist, wird unter Verwendung des Gold-Katalysators als Glucose-Oxidationsprodukt Gluconsäure erhalten. Wenn das zu oxidierende Oligosaccharid eine Disaccharid-Aldose wie Maltose ist, wird als Oxidationsprodukt Maltobionsäure erhalten. Wenn das zu oxidierende Oligosaccharid eine Disaccharid-Aldose wie Lactose ist, wird als Oxidationsprodukt Lactobionsäure erhalten. In weiteren Ausführungsformen kann der erfindungsgemäß eingesetzte Gold-Katalysator zur Oxidation von Maltodextrin oder zu Oxidation eines Stärkesirups eingesetzt werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher auch die Verwendung eines Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysators zur Herstellung einer oder mehrerer Aldonsäure(n) aus einer oder mehreren Kohlenhydrat-Aldose(n). Die vorliegende Erfindung betrifft auch die Verwendung eines Metalloxid-geträgerten Gold-Katalysators zur Herstellung einer oder mehrerer

Aldonsäure(n) aus einem oder mehreren Kohlenhydrat(en) in 2-Ketose-Form, wobei das/die Kohlenhydrat(e) in 2-Ketose-Form vor der Oxidation zunächst in die tautomere(n) Aldose-Form(en) überführt und
5 dann selektiv oxidiert wird/werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft auch die Verwendung eines Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysators zur selektiven Oxidation eines Oligosaccharids, eines Oligosaccharid-Gemisches oder ei-
10 ner diese(s) enthaltenden Zusammensetzung, wobei das/die Oligosaccharid(e) zu der/den entsprechenden Oligosaccharid-Aldonsäure(n) oxidiert wird. Der erfindungsgemäß verwendete Kohlenstoff-geträgerte Gold-Katalysator enthält etwa 0,1 % bis 5 % Gold,
15 vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold, besonders bevorzugt 0,5 % Gold. Als zu oxidierendes Oligosaccharid kann sowohl eine Oligosaccharid-Aldose als auch ein Oligosaccharid in 2-Ketose-Form eingesetzt werden, wobei das Oligosaccharid in 2-Ketose-Form
20 zunächst in die tautomere Oligosaccharid-Aldose-Form überführt und dann oxidiert wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher auch die Verwendung eines Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysators zur Herstellung einer oder mehrerer
25 Oligosaccharid-Aldonsäure(n) aus einer oder mehreren Oligosaccharid-Aldose(n). Die vorliegende Erfindung betrifft auch die Verwendung eines Kohlenstoff-geträgerten Gold-Katalysators zur Herstellung einer oder mehrerer Oligosaccharid-Aldonsäure(n)
30 aus einem oder mehreren Oligosaccharid(en) in 2-Ketose-Form, wobei das/die Oligosaccharid(e) in 2-Ketose-Form vor der Oxidation zunächst in die tau-

tomere(n) Aldose-Form(en) überführt und dann selektiv oxidiert wird/werden.

Die vorliegende Erfindung wird anhand der folgenden Figuren und Beispiele näher erläutert. Die Figuren zeigen:

Figur 1 zeigt mittels eines UV-Detektors erhaltene Chromatogramme der Produktgemische, die bei der katalytischen Oxidation von Glucose unter Verwendung von Platin- und Palladium-Katalysatoren erhalten wurden. A: Pt-Bi/C-Katalysator; B: Pt/Al₂O₃-Katalysator.

Figur 2 zeigt mittels eines UV-Detektors erhaltene Chromatogramme der Produkte, die erfindungsgemäß bei der katalytischen Oxidation von Glucose unter Verwendung von Gold-Katalysatoren erhalten wurden. A: 0,95% Au/Al₂O₃-Katalysator; B: 0,5% Au/TiO₂-Katalysator.

Figur 3 zeigt mittels eines UV-Detektors erhaltene Chromatogramme der Produkte, die bei der katalytischen Oxidation von Lactose unter Verwendung von Platin-, Palladium- und Gold-Katalysatoren erhalten wurden. A: Pt/Al₂O₃-Katalysator; B: Pd/Al₂O₃-Katalysator; C: 0,5% Au/TiO₂-Katalysator.

Figur 4 zeigt mittels eines UV-Detektors erhaltene Chromatogramme der Produkte, die bei der katalytischen Oxidation von Maltose unter Verwendung von Platin-, Palladium- und Gold-Katalysatoren erhalten wurden. A: Pt/Al₂O₃-Katalysator; B: Pd/Al₂O₃-Katalysator; C: 0,5% Au/TiO₂-Katalysator.

Figur 5 zeigt mittels eines UV-Detektors erhaltene Chromatogramme der Produkte, die bei der katalytischen Oxidation von Maltodextrin unter Verwendung von Platin-, Palladium- und Gold-Katalysatoren erhalten wurden. A: Pt/Al₂O₃-Katalysator; B: Pd/Al₂O₃-Katalysator; C: 0,5% Au/TiO₂-Katalysator.

Referenzbeispiel

Glucose-Oxidation mit Platin- und Palladium-Katalysatoren

Als Katalysatoren wurden ein 5 % Platin- und 5 %
5 Bismut-enthaltender Kohlenstoff-geträgerter Katalysator (Fa. Degussa), ein 5 % Platin-enthaltender Katalysator auf einem Al_2O_3 -Träger (Fa. Engelhard) sowie ein 5 % Palladium-enthaltender Katalysator auf einem Al_2O_3 -Träger eingesetzt. Die Glucoseoxi-
10 dation erfolgte unter folgenden Reaktionsbedingungen:

	Reaktionsvolumen (Batch):	500 ml
	Katalysatormenge:	1 g/l
	Substratanfangskonzentration:	100 mmol/l
15	pH-Wert:	11
	Temperatur:	40°C
	Druck:	1 bar
	O_2 -Begasungsrate:	500 ml/min
	Rührgeschwindigkeit:	700 UpM

20 Die Ergebnisse, die unter Verwendung der vorstehend aufgeführten Katalysatoren bei der Glucoseoxidation erhalten wurden, sind in der folgenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1:

Vergleich der Pt- und Pd-Katalysatoren bezüglich Glucose-Oxidation, Anfangsaktivität bis 10 % Umsatz und Bildung von Fructose durch Isomerisierung

5

Eigenschaft	Pt(5%) Bi(5%)/C	5 % Pt/Al ₂ O ₃	5 % Pd/Al ₂ O ₃
Glucoseumsatz in %*	>95	>95	90
Anfangsaktivität in mmol _{Glucose} - se/(g _{metall} ·min)	19	62	76
Selektivität zu Gluconsäure in %	85	83	92
Selektivität zu an- deren Oxidations- produkten in % **	11	12	4
Selektivität zu Fructose in %	2,5	2,5	<0,5

* Umsatz, bei dem die Reaktion abgebrochen wurde

** andere Oxidationsprodukte: Glucuronsäure, 2- und 5-Keto-Gluconsäure sowie Glucarsäure

10 Tabelle 1 zeigt, dass herkömmliche Platin- und Pal-
ladium-Katalysatoren bei der Glucose-Oxidation nur
eine mäßige Selektivität bezüglich der Bildung von
Gluconsäure aufweisen und dass erhebliche Mengen an
anderen Oxidationsprodukten wie Glucuronsäure, Glu-
carsäure, 2-Keto-Gluconsäure und 5-Keto-Gluconsäure
15 gebildet werden. Dieses Produktspektrum ist auch in
Figur 1 zu erkennen, die mittels eines UV-Detektors
erhaltene Produkt-Chromatogramme zeigt. Aus den er-

haltenen Ergebnissen geht hervor, dass die herkömm-
licherweise verwendeten Platin- oder Palladium-
Katalysatoren für die selektive Herstellung von
Gluconsäure durch Glucose-Oxidation nicht geeignet
5 sind.

Beispiel 1:

Glucose-Oxidation unter Verwendung von Gold- Katalysatoren

Für dieses Beispiel wurden die folgenden Katalysa-
10 tor-Typen eingesetzt:

- A: 1 % Au/C Typ 138 (ACA)
- B: 0,95 % Au/Al₂O₃ (ACA)
- C: 0,7 % Au/C Typ 11 (ACA)
- D: 1 % Au/TiO₂ Typ 5 (ACA)
- 15 E: 0,5 % Au/TiO₂ Typ 102 (ACA)
- F: 0,5 % Au/TiO₂ Typ 149 (ACA)

Die Glucose-Oxidation erfolgte unter folgenden Re-
aktionsbedingungen:

	Reaktionsvolumen (Batch):	500 ml
20	Katalysatormenge:	1 g/l
	Substratanfangskonzentration:	100 mmol/l
	pH-Wert:	11
	Temperatur:	40°C
	Druck:	1 bar
25	O ₂ -Begasungsrate:	500 ml/min
	Rührgeschwindigkeit:	700 UpM

Die Ergebnisse, die bei der Glucose-Oxidation unter Verwendung der vorstehend aufgeführten Katalysatoren erhalten wurden, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2:

- 5 Vergleich verschiedener Gold-Katalysatoren bezüglich Selektivität der Glucose-Oxidation, Anfangsaktivität bis 10 % Umsatz und Fructose-Bildung infolge Isomerisierung

Eigenschaft	A	B	C	D	E	F
Glucoseumsatz in %*	93	97	88	74	95	100
Anfangsaktivität in mmol _{Glucose} /g _{Metall} ·min)	156	133	390	105	371	550
Selektivität zu Gluconsäure in %	95	95	97	95	98	98
Selektivität zu anderen Oxidationsprodukten in %**	0	<2	<1	0	0	<1
Selektivität zu Fructose in %	5	3	2	5	1	1

- 10 * Umsatz, bei dem die Reaktion abgebrochen wurde
 ** andere Oxidationsprodukte: Glucuronsäure, 2- und 5-Keto-Gluconsäure, Glucarsäure

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass die eingesetzten Gold-Katalysatoren eine Aktivität bezüglich der
 15 Glucose-Oxidation aufweisen, die gegenüber der Aktivität der in dem Vergleichsbeispiel verwendeten

Platin- und Palladium-Katalysatoren um mindestens eine Größenordnung oder noch mehr höher ist.

Tabelle 2 zeigt darüber hinaus die außerordentlich hohe Selektivität der verwendeten Gold-Katalysatoren für die Bildung von Gluconsäure aus Glucose. Die hohe Selektivität der eingesetzten Gold-Katalysatoren bezüglich der Gluconsäure-Herstellung ist auch in Figur 2 zu erkennen. Bei Verwendung des Au/TiO₂-Katalysators (Katalysator F) (Figur 2B) wird nur Gluconsäure gebildet, während andere Oxidationsprodukte nicht nachweisbar sind. Hingegen werden bei Verwendung des Au/Al₂O₃-Katalysators (Katalysator B) neben Gluconsäure auch geringe Mengen anderer Oxidationsprodukte wie Glucuronsäure, Glucarsäure und 5-Keto-Gluconsäure gebildet. Die Menge dieser Oxidationsprodukte ist jedoch im Vergleich zu den Mengen dieser Oxidationsprodukte, die bei Verwendung von Platin- oder Palladium-Katalysatoren erhalten werden, deutlich geringer.

Bei den erfindungsgemäß eingesetzten Gold-Katalysatoren wurde auch festgestellt, dass diese nur zu einer sehr geringen Isomerisierung von Fructose führen, wobei die Fructose selbst aber nicht weiter oxidiert wird.

Anhand der erhaltenen Ergebnisse zeigt sich, dass die erfindungsgemäß eingesetzten Gold-Katalysatoren erheblich besser zur Herstellung von Gluconsäure aus Glucose geeignet sind als die im Vergleichsbeispiel verwendeten Platin- oder Palladium-basierten Katalysatoren.

Beispiel 2:**Glucose-Oxidation mit Au/TiO₂-Katalysatoren**

Der in Beispiel 1 dargestellte 0,5 % Au-enthaltende Katalysator mit TiO₂-Träger (Katalysator G) wurde
5 für weitergehende Untersuchungen ausgewählt, wobei die Glucose-Oxidation unter variierenden Reaktionsbedingungen getestet wurde.

Sofern nicht anders angegeben, wurden die gleichen Reaktionsbedingungen eingesetzt, wie in Beispiel 1
10 angeführt.

Einfluss des pH-Wertes auf die Glucose-Oxidation

Die Ergebnisse der Glucose-Oxidation unter Verwendung des 0,5 % Au/TiO₂-Katalysators (Katalysator G) bei unterschiedlichen pH-Werten sind in Tabelle 3
15 dargestellt.

Tabelle 3:

Glucose-Oxidation mit einem 0,5% Au//TiO₂-Katalysator bei unterschiedlichen pH-Werten, Anfangsaktivität bis 10% Umsatz, Bildung von Fructose infolge Isomerisierung

5

Eigenschaft	pH 7	pH 9	pH 11
Glucoseumsatz in %*	80	100	100
Anfangsaktivität in mmol _{Glucose} /(g _{Metall} ·min)	194	416	550
Selektivität zu Gluconsäure in %	>99	>99,5	98
Selektivität zu anderen Ox.-produkten in %**	<0,5	0	<0,5
Selektivität zu Fructose in %	0	0	1

* Umsatz, bei dem die Reaktion abgebrochen wurde

** andere Oxidationsprodukte: Glucuronsäure, 2- und 5-Keto-Gluconsäure, Glucarsäure

- 10 Aus Tabelle 3 geht hervor, dass die Aktivität des Au/TiO₂-Katalysators im nur schwach alkalischen bis neutralen pH-Bereich etwas geringer ist, während die Selektivität noch zunimmt.

Einfluss der Temperatur auf die Glucose-Oxidation

Die Ergebnisse der Glucose-Oxidation unter Verwendung des Au/TiO₂-Katalysators bei unterschiedlichen Temperaturen, einem pH-Wert von 9 und einer Glucose-Anfangskonzentration von 250 mmol/l sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4:

Glucose-Oxidation mit einem 0,5% Au//TiO₂-Katalysator bei unterschiedlichen Temperaturen, einer Glucose-Anfangskonzentration von 250 mmol/l und einem pH-Wert von 9, Anfangsaktivität bis 10% Umsatz, Bildung von Fructose infolge Isomerisierung

Eigenschaft	40°C	50°C	70°C
Glucoseumsatz in %*	95	100	100
Anfangsaktivität in mmol _{Glucose} /(g _{Metall} ·min)	320	1056	1404
Selektivität zu Gluconsäure in %	>99,5	>99	95,5
Selektivität zu anderen Ox.-produkten in %**	<0,1	<0,1	<0,2
Selektivität zu Fructose in %	0	<0,5	3

* Umsatz, bei dem die Reaktion abgebrochen wurde

15 ** andere Oxidationsprodukte: Glucuronsäure, 2- & 5-Keto-Gluconsäure, Glucarsäure

Aus Tabelle 4 geht hervor, dass die Selektivität der Glucose-Oxidation mit steigender Reaktionstemperatur etwas abnimmt. Dies ist jedoch nicht auf

die Bildung anderer Oxidationsprodukte als Gluconsäure zurückzuführen, sondern nahezu ausschließlich auf die vermehrte Bildung von Fructose entsprechend einer höheren Isomerisierungsgeschwindigkeit von
5 Glucose zu Fructose.

Einfluss der Glucose-Anfangskonzentration auf die
Glucose-Oxidation

Der Einfluss der Glucose-Anfangskonzentration auf
die Glucose-Oxidation unter Verwendung des 0,5%
10 Au/TiO₂-Katalysators bei einer Temperatur von 40°C
und einem pH-Wert von 9 ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5:

Glucose-Oxidation mit einem 0,5% Au//TiO₂-Katalysator bei unterschiedlichen Glucose-Anfangskonzentrationen und einem pH-Wert von 9, Anfangsaktivität bis 10% Umsatz, Bildung von Fructose infolge Isomerisierung

Eigenschaft	10 mmol/l	250 mmol/l	1100 mmol/l
Glucoseumsatz in %*	40	95	100
Anfangsaktivität in mmol _{Glucose} / (g _{Metall} ·min)	20	320	1200
Selektivität zu Gluconsäure in %	99,4	99,6	99,2
Selektivität zu anderen Ox.-produkten in %**	0	0	0
Selektivität zu Fructose in %	0,6	<0,1	0,4

* Umsatz, bei dem die Reaktion abgebrochen wurde

** andere Oxidationsprodukte: Glucuronsäure, 2- & 5-Keto-Gluconsäure, Glucarsäure

Aus den in Tabelle 5 dargestellten Ergebnissen ist ersichtlich, dass der verwendete Goldkatalysator auch in konzentrierten Glucose-Lösungen (1100 mmol/l; etwa 20 % Glucose/l) eine ausgezeichnete Aktivität und Selektivität zeigt, wobei deutlich mehr Glucose in gleicher Reaktionszeit umgesetzt wird.

Beispiel 3:**Langzeitstabilität des Au/TiO₂-Katalysators bei der Glucoseoxidation**

Die Langzeitstabilität des 0,5% Au/TiO₂-
5 Katalysators (Kat G in Beispiel 1) wurde in Form
von repeated batch-Versuchen getestet. Dazu wurde
tagsüber eine Glucose-Oxidation durchgeführt. Über
Nacht beziehungsweise übers Wochenende wurde der
Katalysator in der Reaktionslösung, die hauptsäch-
10 lich aus einer wässrigen Gluconsäure-Lösung be-
steht, belassen, so dass der Katalysator sedimen-
tieren konnte. Am nächsten Tag wurde der Überstand
abdekantiert und der Reaktor wurde mit frischer
Glucose-Lösung aufgefüllt und die nächste Glucose-
15 Oxidation wurde durchgeführt. Insgesamt wurden 17
Batch-Versuche bei einem pH-Wert von 9, einer Tem-
peratur von 40°C und einer Glucose-Anfangs-
konzentration von 250 mmol/l (entspricht etwa 4,5 %
Glucose/l) durchgeführt. Die weiteren Reaktionsbe-
20 dingungen waren wie in Beispiel 1 beschrieben. Die
Ergebnisse für einige ausgewählte Batch-Versuche
sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6:

Langzeitversuch zur Glucose-Oxidation mit einem 0,5% Au//TiO₂-Katalysator bei einer Glucose-Anfangskonzentration von 250 mmol/l, einer Temperatur von 40°C und einem pH-Wert von 9, Anfangsaktivität bis 10% Umsatz, Bildung von Fructose infolge Isomerisierung

Eigenschaft	Batch-Nummer				
	1	5	10	15	17
Glucoseumsatz in %*	95	97	99	94	56
Anfangsaktivität in mmol _{Glucose} / (g _{Metall} · min)	320	350	460	430	570
Selektivität zu Gluconsäure in %	99,5	99,7	99,6	99	99,3
Selektivität zu anderen Ox.-produkten in %**	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Selektivität zu Fructose in %	<0,1	<0,1	0,1	0,3	<0,3

* Umsatz, bei dem die Reaktion abgebrochen wurde

10 ** andere Oxidationsprodukte: Glucuronsäure, 2- & 5-Keto-Gluconsäure, Glucarsäure

Die in Tabelle 6 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die katalytischen Eigenschaften des Gold-Katalysators über den untersuchten Versuchszeitraum hinweg als konstant anzusehen sind und somit der Katalysator über eine äußerst hohe Lebensdauer verfügt. Insgesamt wurden in diesen Versuchen mit 0,5 g des 0,5 % Au/TiO₂-Katalysators etwa 360 g Glucose

nahezu 100%-ig zu Gluconsäure umgesetzt. Dies entspricht etwa 145 t Glucose/kg Gold. Aufgrund des in dieser Rechnung noch nicht berücksichtigten Katalysatorverlustes, der während der Versuche durch Probenentnahme entsteht, liegt dieser Wert wahrscheinlich noch deutlich höher. Ferner ist hier zu berücksichtigen, dass der Katalysator über den untersuchten Zeitraum hinaus vermutlich noch sehr viel länger stabil ist, wodurch dieser Wert wiederum entsprechend ansteigen kann.

Beispiel 4

Selektive Oxidation von Lactose mit Gold-Katalysatoren

Lactose ist ein 1,4 verknüpftes Disaccharid, das aus einem Glucose- und einem Galactose-Teil besteht. Zur Oxidation von Lactose wurde der 0,5 % Au/TiO₂ (Katalysator G) eingesetzt. Zum Vergleich wurden auch der 5 % Pt/Al₂O₃-Katalysator (Engelhard) und der 5 % Pd/Al₂O₃-Katalysator eingesetzt. Die Oxidation von Lactose erfolgte unter folgenden Reaktionsbedingungen:

Reaktionsvolumen (Batch):	500 ml
Katalysatormenge:	1 g/l
Substratanfangskonzentration:	10 mmol/l
pH-Wert:	8
Temperatur:	80°C
Druck:	1 bar
O ₂ -Begasungsrate:	500 ml/min
Rührergeschwindigkeit:	700 UpM

Tabelle 7 zeigt die unter Verwendung der verschiedenen Katalysatoren erhaltenen Ergebnisse der katalytischen Lactose-Oxidation.

Tabelle 7:

- 5 Verwendung unterschiedlicher Katalysatoren zur Lactose-Oxidation, Anfangsaktivität bis 10% Umsatz

Eigenschaft	5 % Pt/Al ₂ O ₃	5 % Pd/Al ₂ O ₃	0,5 % Au/TiO ₂
Umsatz nach 20 min in %*	<40	<60	>95
Anfangsaktivität in mmol _{Substrat} /g _{Metall} ·min)*	7,1	16,4	143

* abgeschätzt aus Titrationskurve

- 10 Aufgrund analytischer Probleme kann für die Lactose-Oxidation die Selektivität der einzelnen Katalysatoren nur qualitativ angegeben werden. Dazu lassen sich die im UV-Detektor erhaltenen, in Figur 3 dargestellten Chromatogramme heranziehen, die die oxidierten Reaktionsprodukte zeigen. Aus Figur 3
- 15 ist zu ersehen, dass der erfindungsgemäß eingesetzte TiO₂-geträgerte Gold-Katalysator eine extrem hohe Selektivität bezüglich der Herstellung von Lactobionsäure besitzt, wobei praktisch keine anderen Oxidationsprodukte nachzuweisen sind. Im Gegensatz
- 20 dazu führt die Oxidation von Lactose in Gegenwart des Platin- beziehungsweise Palladium-Katalysators zu einem Gemisch unterschiedlicher Produkte, wobei Lactobionsäure nicht das Hauptprodukt darstellt.

Beispiel 5:**Selektive Oxidation von Maltose unter Verwendung von Gold-Katalysatoren**

Maltose ist ein 1,4-verknüpftes Disaccharid, das aus zwei Glucoseeinheiten besteht. Dabei verfügt ein Glucose-Teil über einen aldehydischen C1-Kohlenstoff. Beide Glucoseeinheiten von Maltose enthalten jeweils ein alkoholisches C6-Kohlenstoffatom. Die Oxidation von Maltose wurde unter Verwendung des 0,5 % Au/TiO₂-Katalysators (Katalysator G) durchgeführt. Zum Vergleich erfolgte die Maltose-Oxidation auch unter Verwendung des 5 % Pt/Al₂O₃-Katalysators (Engelhard) und des 5 % Pd/Al₂O₃-Katalysators. Die Maltose-Oxidation erfolgte unter folgenden Reaktionsbedingungen:

Reaktionsvolumen (Batch):	500 ml
Katalysatormenge:	1 g/l
Substratanfangskonzentration:	10 mmol/l
pH-Wert:	8
20 Temperatur:	80°C
Druck:	1 bar
O ₂ -Begasungsrate:	500 ml/min
Rührergeschwindigkeit:	700 UpM

Tabelle 8 zeigt die bei der Maltose-Oxidation erhaltenen Ergebnisse.

Tabelle 8:

Verwendung unterschiedlicher Katalysatoren zur Maltose-Oxidation, Anfangsaktivität bis 10% Umsatz

Eigenschaft	5 % Pt/Al ₂ O ₃	5 % Pd/Al ₂ O ₃	0,5 % Au/TiO ₂
Umsatz nach 20 min in %*	<80	100	100
Anfangsaktivität in mmol _{Substrat} /g _{Metall} ·min)*	12,3	22,2	110

5 * abgeschätzt aus Titrationskurve

Aufgrund analytischer Probleme kann die Selektivität bezüglich der Oxidation von Maltose zu Maltobionsäure nur qualitativ angegeben werden. Dazu lassen sich die in Figur 4 dargestellten Produkt-Chromatogramme im UV-Detektor heranziehen, anhand derer die oxidierten Reaktionsprodukte nachweisbar sind. Figur 4 zeigt Chromatogramme der bei der Maltose-Oxidation unter Verwendung der angegebenen Katalysatoren erhaltenen Produkte. Aus Figur 4 ist zu
 10
 15
 20
 15
 20
 25
 30
 35
 40
 45
 50
 55
 60
 65
 70
 75
 80
 85
 90
 95
 100
 105
 110
 115
 120
 125
 130
 135
 140
 145
 150
 155
 160
 165
 170
 175
 180
 185
 190
 195
 200
 205
 210
 215
 220
 225
 230
 235
 240
 245
 250
 255
 260
 265
 270
 275
 280
 285
 290
 295
 300
 305
 310
 315
 320
 325
 330
 335
 340
 345
 350
 355
 360
 365
 370
 375
 380
 385
 390
 395
 400
 405
 410
 415
 420
 425
 430
 435
 440
 445
 450
 455
 460
 465
 470
 475
 480
 485
 490
 495
 500
 505
 510
 515
 520
 525
 530
 535
 540
 545
 550
 555
 560
 565
 570
 575
 580
 585
 590
 595
 600
 605
 610
 615
 620
 625
 630
 635
 640
 645
 650
 655
 660
 665
 670
 675
 680
 685
 690
 695
 700
 705
 710
 715
 720
 725
 730
 735
 740
 745
 750
 755
 760
 765
 770
 775
 780
 785
 790
 795
 800
 805
 810
 815
 820
 825
 830
 835
 840
 845
 850
 855
 860
 865
 870
 875
 880
 885
 890
 895
 900
 905
 910
 915
 920
 925
 930
 935
 940
 945
 950
 955
 960
 965
 970
 975
 980
 985
 990
 995
 1000
 1005
 1010
 1015
 1020
 1025
 1030
 1035
 1040
 1045
 1050
 1055
 1060
 1065
 1070
 1075
 1080
 1085
 1090
 1095
 1100
 1105
 1110
 1115
 1120
 1125
 1130
 1135
 1140
 1145
 1150
 1155
 1160
 1165
 1170
 1175
 1180
 1185
 1190
 1195
 1200
 1205
 1210
 1215
 1220
 1225
 1230
 1235
 1240
 1245
 1250
 1255
 1260
 1265
 1270
 1275
 1280
 1285
 1290
 1295
 1300
 1305
 1310
 1315
 1320
 1325
 1330
 1335
 1340
 1345
 1350
 1355
 1360
 1365
 1370
 1375
 1380
 1385
 1390
 1395
 1400
 1405
 1410
 1415
 1420
 1425
 1430
 1435
 1440
 1445
 1450
 1455
 1460
 1465
 1470
 1475
 1480
 1485
 1490
 1495
 1500
 1505
 1510
 1515
 1520
 1525
 1530
 1535
 1540
 1545
 1550
 1555
 1560
 1565
 1570
 1575
 1580
 1585
 1590
 1595
 1600
 1605
 1610
 1615
 1620
 1625
 1630
 1635
 1640
 1645
 1650
 1655
 1660
 1665
 1670
 1675
 1680
 1685
 1690
 1695
 1700
 1705
 1710
 1715
 1720
 1725
 1730
 1735
 1740
 1745
 1750
 1755
 1760
 1765
 1770
 1775
 1780
 1785
 1790
 1795
 1800
 1805
 1810
 1815
 1820
 1825
 1830
 1835
 1840
 1845
 1850
 1855
 1860
 1865
 1870
 1875
 1880
 1885
 1890
 1895
 1900
 1905
 1910
 1915
 1920
 1925
 1930
 1935
 1940
 1945
 1950
 1955
 1960
 1965
 1970
 1975
 1980
 1985
 1990
 1995
 2000
 2005
 2010
 2015
 2020
 2025
 2030
 2035
 2040
 2045
 2050
 2055
 2060
 2065
 2070
 2075
 2080
 2085
 2090
 2095
 2100
 2105
 2110
 2115
 2120
 2125
 2130
 2135
 2140
 2145
 2150
 2155
 2160
 2165
 2170
 2175
 2180
 2185
 2190
 2195
 2200
 2205
 2210
 2215
 2220
 2225
 2230
 2235
 2240
 2245
 2250
 2255
 2260
 2265
 2270
 2275
 2280
 2285
 2290
 2295
 2300
 2305
 2310
 2315
 2320
 2325
 2330
 2335
 2340
 2345
 2350
 2355
 2360
 2365
 2370
 2375
 2380
 2385
 2390
 2395
 2400
 2405
 2410
 2415
 2420
 2425
 2430
 2435
 2440
 2445
 2450
 2455
 2460
 2465
 2470
 2475
 2480
 2485
 2490
 2495
 2500
 2505
 2510
 2515
 2520
 2525
 2530
 2535
 2540
 2545
 2550
 2555
 2560
 2565
 2570
 2575
 2580
 2585
 2590
 2595
 2600
 2605
 2610
 2615
 2620
 2625
 2630
 2635
 2640
 2645
 2650
 2655
 2660
 2665
 2670
 2675
 2680
 2685
 2690
 2695
 2700
 2705
 2710
 2715
 2720
 2725
 2730
 2735
 2740
 2745
 2750
 2755
 2760
 2765
 2770
 2775
 2780
 2785
 2790
 2795
 2800
 2805
 2810
 2815
 2820
 2825
 2830
 2835
 2840
 2845
 2850
 2855
 2860
 2865
 2870
 2875
 2880
 2885
 2890
 2895
 2900
 2905
 2910
 2915
 2920
 2925
 2930
 2935
 2940
 2945
 2950
 2955
 2960
 2965
 2970
 2975
 2980
 2985
 2990
 2995
 3000
 3005
 3010
 3015
 3020
 3025
 3030
 3035
 3040
 3045
 3050
 3055
 3060
 3065
 3070
 3075
 3080
 3085
 3090
 3095
 3100
 3105
 3110
 3115
 3120
 3125
 3130
 3135
 3140
 3145
 3150
 3155
 3160
 3165
 3170
 3175
 3180
 3185
 3190
 3195
 3200
 3205
 3210
 3215
 3220
 3225
 3230
 3235
 3240
 3245
 3250
 3255
 3260
 3265
 3270
 3275
 3280
 3285
 3290
 3295
 3300
 3305
 3310
 3315
 3320
 3325
 3330
 3335
 3340
 3345
 3350
 3355
 3360
 3365
 3370
 3375
 3380
 3385
 3390
 3395
 3400
 3405
 3410
 3415
 3420
 3425
 3430
 3435
 3440
 3445
 3450
 3455
 3460
 3465
 3470
 3475
 3480
 3485
 3490
 3495
 3500
 3505
 3510
 3515
 3520
 3525
 3530
 3535
 3540
 3545
 3550
 3555
 3560
 3565
 3570
 3575
 3580
 3585
 3590
 3595
 3600
 3605
 3610
 3615
 3620
 3625
 3630
 3635
 3640
 3645
 3650
 3655
 3660
 3665
 3670
 3675
 3680
 3685
 3690
 3695
 3700
 3705
 3710
 3715
 3720
 3725
 3730
 3735
 3740
 3745
 3750
 3755
 3760
 3765
 3770
 3775
 3780
 3785
 3790
 3795
 3800
 3805
 3810
 3815
 3820
 3825
 3830
 3835
 3840
 3845
 3850
 3855
 3860
 3865
 3870
 3875
 3880
 3885
 3890
 3895
 3900
 3905
 3910
 3915
 3920
 3925
 3930
 3935
 3940
 3945
 3950
 3955
 3960
 3965
 3970
 3975
 3980
 3985
 3990
 3995
 4000
 4005
 4010
 4015
 4020
 4025
 4030
 4035
 4040
 4045
 4050
 4055
 4060
 4065
 4070
 4075
 4080
 4085
 4090
 4095
 4100
 4105
 4110
 4115
 4120
 4125
 4130
 4135
 4140
 4145
 4150
 4155
 4160
 4165
 4170
 4175
 4180
 4185
 4190
 4195
 4200
 4205
 4210
 4215
 4220
 4225
 4230
 4235
 4240
 4245
 4250
 4255
 4260
 4265
 4270
 4275
 4280
 4285
 4290
 4295
 4300
 4305
 4310
 4315
 4320
 4325
 4330
 4335
 4340
 4345
 4350
 4355
 4360
 4365
 4370
 4375
 4380
 4385
 4390
 4395
 4400
 4405
 4410
 4415
 4420
 4425
 4430
 4435
 4440
 4445
 4450
 4455
 4460
 4465
 4470
 4475
 4480
 4485
 4490
 4495
 4500
 4505
 4510
 4515
 4520
 4525
 4530
 4535
 4540
 4545
 4550
 4555
 4560
 4565
 4570
 4575
 4580
 4585
 4590
 4595
 4600
 4605
 4610
 4615
 4620
 4625
 4630
 4635
 4640
 4645
 4650
 4655
 4660
 4665
 4670
 4675
 4680
 4685
 4690
 4695
 4700
 4705
 4710
 4715
 4720
 4725
 4730
 4735
 4740
 4745
 4750
 4755
 4760
 4765
 4770
 4775
 4780
 4785
 4790
 4795
 4800
 4805
 4810
 4815
 4820
 4825
 4830
 4835
 4840
 4845
 4850
 4855
 4860
 4865
 4870
 4875
 4880
 4885
 4890
 4895
 4900
 4905
 4910
 4915
 4920
 4925
 4930
 4935
 4940
 4945
 4950
 4955
 4960
 4965
 4970
 4975
 4980
 4985
 4990
 4995
 5000
 5005
 5010
 5015
 5020
 5025
 5030
 5035
 5040
 5045
 5050
 5055
 5060
 5065
 5070
 5075
 5080
 5085
 5090
 5095
 5100
 5105
 5110
 5115
 5120
 5125
 5130
 5135
 5140
 5145
 5150
 5155
 5160
 5165
 5170
 5175
 5180
 5185
 5190
 5195
 5200
 5205
 5210
 5215
 5220
 5225
 5230
 5235
 5240
 5245
 5250
 5255
 5260
 5265
 5270
 5275
 5280
 5285
 5290
 5295
 5300
 5305
 5310
 5315
 5320
 5325
 5330
 5335
 5340
 5345
 5350
 5355
 5360
 5365
 5370
 5375
 5380
 5385
 5390
 5395
 5400
 5405
 5410
 5415
 5420
 5425
 5430
 5435
 5440
 5445
 5450
 5455
 5460
 5465
 5470
 5475
 5480
 5485
 5490
 5495
 5500
 5505
 5510
 5515
 5520
 5525
 5530
 5535
 5540
 5545
 5550
 5555
 5560
 5565
 5570
 5575
 5580
 5585
 5590
 5595
 5600
 5605
 5610
 5615
 5620
 5625
 5630
 5635
 5640
 5645
 5650
 5655
 5660
 5665
 5670
 5675
 5680
 5685
 5690
 5695
 5700
 5705
 5710
 5715
 5720
 5725
 5730
 5735
 5740
 5745
 5750
 5755
 5760
 5765
 5770
 5775
 5780
 5785
 5790
 5795
 5800
 5805
 5810
 5815
 5820
 5825
 5830
 5835
 5840
 5845
 5850
 5855
 5860
 5865
 5870
 5875
 5880
 5885
 5890
 5895
 5900
 5905
 5910
 5915
 5920
 5925
 5930
 5935
 5940
 5945
 5950
 5955
 5960
 5965
 5970
 5975
 5980
 5985
 5990
 5995
 6000
 6005
 6010
 6015
 6020
 6025
 6030
 6035
 6040
 6045
 6050
 6055
 6060
 6065
 6070
 6075
 6080
 6085
 6090
 6095
 6100
 6105
 6110
 6115
 6120
 6125
 6130
 6135
 6140
 6145
 6150
 6155
 6160
 6165
 6170
 6175
 6180
 6185
 6190
 6195
 6200
 6205
 6210
 6215
 6220
 6225
 6230
 6235
 6240
 6245
 6250
 6255
 6260
 6265
 6270
 6275
 6280
 6285
 6290
 6295
 6300
 6305
 6310
 6315
 6320
 6325
 6330
 6335
 6340
 6345
 6350
 6355
 6360
 6365
 6370
 6375
 6380
 6385
 6390
 6395
 6400
 6405
 6410
 6415
 6420
 6425
 6430
 6435
 6440
 6445
 6450
 6455
 6460
 6465
 6470
 6475
 6480
 6485
 6490
 6495
 6500
 6505
 6510
 6515
 6520
 6525
 6530
 6535
 6540
 6545
 6550
 6555
 6560
 6565
 6570
 6575
 6580
 6585
 6590
 6595
 6600
 6605
 6610
 6615
 6620
 6625
 6630
 6635
 6640
 6645
 6650
 6655
 6660

vität bei der Maltoseoxidation zeigt wie bei der Lactose-Oxidation.

Beispiel 6:

5 Oxidation von Maltodextrin unter Verwendung eines Gold-Katalysators

Maltodextrine stellen Gemische von Oligosacchariden dar, die aus der Verknüpfung von Glucose-Einheiten über eine 1,4-glycosidische Bindung entstehen. Für das Beispiel wurde Agenamalt 20.222
10 (Maltodextrin DE 19) verwendet. Gemäß Angaben des Herstellers ist das verwendete Maltodextrin DE 19 wie folgt zusammengesetzt:

Glucose:	3,5-4,5 % i.d.TM
Maltose:	3,5-4,5 % i.d.TM
15 Maltotriose:	4,5-5,5 % i.d.TM
Oligosaccharide:	Rest

Zur Maltodextrin-Oxidation wurden der 5% Pt/Al₂O₃-Katalysator (Engelhard), der 5% Pd/Al₂O₃-Katalysator und der 0,5% Au/TiO₂-Katalysator (Katalysator G) eingesetzt. Die Maltodextrin-Oxidation
20 erfolgte unter folgenden Reaktionsbedingungen:

Reaktionsvolumen (Batch):	500 ml
Katalysatormenge:	1 g/l
Substratanfangskonzentration:	10 mmol/l
25 pH-Wert:	8
Temperatur:	80°C
Druck:	1 bar
O ₂ -Begasungsrate:	500 ml/min
Rührergeschwindigkeit:	700 UpM

Aufgrund gravierender analytischer Probleme können weder Umsatz noch Aktivität für die einzelnen Katalysator-Typen angegeben werden. Dennoch läuft mit jedem der untersuchten Katalysatoren eine Oxidations-Reaktion ab. Figur 5 zeigt einen qualitativen Vergleich der einzelnen UV-Chromatogramme der Proben bei Reaktionsabbruch.

Aus Figur 5 geht hervor, dass eine beachtliche Oxidation insbesondere mit dem Pd- und dem erfindungsgemäß eingesetzten Au-Katalysator abläuft, was auch durch die Menge an titrierter KOH unterstützt wird (Pt: 0,7 ml; Pd: 2,8 ml; Au: 2,2 ml jeweils bei $t = 85$ min). Der Vergleich des Produktgemisches, das unter Verwendung des Pd-Katalysators erhalten wurde, mit dem Produktgemisch, das unter Verwendung des Au-Katalysators erhalten wurde, zeigt einen auffälligen Unterschied. Die Substanz mit der Retentionszeit von 20,2 min wird vom Pd-Katalysator mit deutlich höherer Selektivität gebildet als dies beim Au-Katalysator der Fall ist. Die Identität dieser Substanz ist jedoch unbekannt. Hingegen zeigt der erfindungsgemäße Gold-Katalysator eine deutlich höhere Selektivität bezüglich Gluconsäure und Maltobionsäure als der Pd-Katalysator.

25

Beispiel 7

Herstellung von Gold-Katalysatoren zur selektiven Oxidation von Kohlenhydraten

Herstellung eines Au/TiO₂-Katalysators (0,45 % Au)

- 5 Als Trägermaterial wurde ein anatas-haltiges TiO₂-Hydrat (Kronos, S_{BET} = 288 m²/g) eingesetzt. Zu einer wässrigen Suspension von 50 g TiO₂ in einem Liter destilliertem Wasser, die auf 70°C erwärmt und mit 0,2 N NaOH auf einen pH-Wert von 6,5 eingestellt wurde, werden bei konstantem pH-Wert unter
- 10 intensivem Rühren innerhalb von 3 h 500 mg Tetra-chlorogoldsäure (HAuCl₄ x 3 H₂O) in 250 ml Wasser zugetropft. Der Ansatz wird bei 70°C eine Stunde weiter gerührt. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur
- 15 wird eine Magnesiumcitrat-Lösung (2,318 g MgHC₆H₅O₇ x 5 H₂O in 50 ml Wasser), deren pH-Wert zuvor mit 0,2 N NaOH auf 6,5 eingestellt wurde, zugegeben. Nach einer 1-stündigen Rührzeit wird der Feststoff abzentrifugiert, dreimal mit Wasser gewaschen und
- 20 anschließend im Vakuumtrockenschrank bei einem Druck von <50 hPa 17 h bei Raumtemperatur und 4 h bei 50°C getrocknet. Der erhaltene Präcursor wird leicht gemörsert und in Luft mit einer Aufheizrate von 1 K/min auf 250°C erhitzt und 3 h bei dieser
- 25 Temperatur aktiviert.

Ausbeute: 47,3 g

TEM: dominierend Teilchen mit d<5 nm, vereinzelte Teilchen mit d von etwa 20 nm

ICP-OES-Analyse: 0,45 %

Herstellung eines Au/TiO₂-Katalysators (3 % Au)

Als Trägermaterial wurde TiO₂-P25 (Degussa) eingesetzt, das aus 70 % Anatas und 30 % Rutil ($S_{\text{BET}} = 50 \text{ m}^2/\text{g}$) besteht.

- 5 Zu einer wässrigen Suspension aus 20 g TiO₂ in 400 ml destilliertem Wasser, die auf 70°C erwärmt und mit 0,2 N NaOH auf einen pH-Wert von 6,5 eingestellt wurde, werden unter intensivem Rühren bei konstantem pH-Wert innerhalb von 2,5 h 1,32 g
- 10 Tetrachlorogoldsäure ($\text{HAuCl}_4 \cdot x \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$) in 200 ml Wasser zugetropft. Der Ansatz wird 1 h bei 70°C gerührt. Nach Abkühlung wird eine Magnesiumcitratlösung (6,118 g $\text{MgHC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot x \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$ in 100 ml Wasser) zugegeben, deren pH-Wert zuvor mit 0,2 N NaOH auf
- 15 6,5 eingestellt wurde. Nach einer 1-stündigen Rührzeit wird der Feststoff durch Zentrifugieren abgetrennt, dreimal mit Wasser gewaschen und im Vakuumtrockenschrank bei einem Druck von <50 hPa 16 h bei Raumtemperatur und 4 h bei 50°C getrocknet und anschließend leicht zermörsert. Der erhaltene Präcursor wird in Luft mit einer Aufheizrate von 1 K/min auf 250°C erhitzt und 3 h bei dieser Temperatur aktiviert.
- 20

Ausbeute: 20,5 g

- 25 TEM: Regelmäßig verteilte kleine Teilchen mit $d = 1\text{-}4 \text{ nm}$

ICP-OES-Analyse: Au-Gehalt = 3,03 %

Herstellung eines Au/TiO₂-Katalysators (1 % Au)

- Als Trägermaterial wurde ein anatas-haltiges TiO₂-Hydrat (Kronos) verwendet, das vor seiner Belegung
- 30

mit einer Polymer-stabilisierten Goldsol-Lösung 5 h bei 400°C calciniert wurde ($S_{\text{BET}} = 130 \text{ m}^2/\text{g}$).

Zu einer Lösung, bestehend aus 80 mg Tetrachlorogoldsäure ($\text{HAuCl}_4 \times 3 \text{ H}_2\text{O}$) in 400 ml Wasser, wurden
5 2 ml 0,1 N NaOH getropft. Unter starkem Rühren erfolgte die Zugabe des kolloidstabilisierenden Polymer (120 mg Polydiallyldimethylammoniumchlorid, $\text{MG} = 100000$ bis 200000 , 20 %ig in Wasser, verdünnt mit 4 ml Wasser). Nach Reduktion der Gold (III)-Ionen
10 mit Natriumborhydrid (76 mg NaBH_4 in 4 ml Wasser) wurden sofort 4 g des vorbereiteten TiO_2 unter starkem Rühren hinzugefügt. Nach einstündigem Rühren wurde der Katalysator durch Zentrifugieren abgetrennt, dreimal mit Wasser gewaschen und im Vakuum-
15 umtrockenschrank bei einem Druck von $<50 \text{ hPa}$ 17 h bei Raumtemperatur und 4 h bei 50°C getrocknet.

Ausbeute: 4 g

ICP-OES-Analyse: Au-Gehalt = 1 %

Herstellung eines $\text{Au}/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Katalysators (0,95 % Au)

20 Als Al_2O_3 -Trägermaterial wurde Puralox HP 14/150 (Sasol/Condea) mit $S_{\text{BET}} = 151 \text{ m}^2/\text{g}$ verwendet.

Zu einer wässrigen Suspension von 30 g Al_2O_3 in 600 ml destilliertem Wasser, die auf 70°C erwärmt und mit 0,1 N NaOH auf einen pH-Wert von 7 eingestellt
25 wurde, werden unter intensivem Rühren innerhalb von 3 h bei konstantem pH-Wert 900 mg Tetrachlorogoldsäure ($\text{HAuCl}_4 \times 3 \text{ H}_2\text{O}$) in 450 ml Wasser zugetropft. Die Reaktionslösung wird 1 h bei 70°C weitergerührt. Zu dem auf Raumtemperatur abgekühlten Ansatz
30 wird eine Magnesiumcitratlösung (4,172 g $\text{MgHC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \times$

5 H₂O in 90 ml Wasser) gegeben, deren pH-Wert zuvor mit verdünnter NaOH auf 7 eingestellt worden war. Nach 1-stündigem Rühren wird der Feststoff durch Zentrifugieren abgetrennt, dreimal mit Wasser gewaschen und im Vakuumtrockenschrank bei einem Druck von <50 hPa 17 h bei Raumtemperatur und 4 h bei 50°C getrocknet und anschließend leicht gemörsert. Der erhaltene Präcursor wird in Luft mit einer Aufheizrate von 1 K/min auf 250°C erhitzt und 3 h bei dieser Temperatur aktiviert.

Ausbeute: 27,3 g

TEM: dominierend Teilchen mit $d = 1-2$ nm

ICP-OES-Analyse: Au-Gehalt = 0,95 %

Ansprüche

- 5 1. Verfahren zur selektiven Oxidation von mindestens einem Kohlenhydrat, einem Kohlenhydrat-Gemisch oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung, wobei eine wässrige Lösung des Kohlenhydrates, des Gemisches oder der Zusammensetzung in Gegenwart eines Gold-Katalysators, umfassend nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Metalloxid-Träger, und von Sauerstoff umgesetzt wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Aldehyd-Gruppe des/der Kohlenhydrate(s) selektiv zu einer Carboxyl-Gruppe oxidiert wird.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Metalloxid-Träger des Gold-Katalysators ein TiO_2 -Träger ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der TiO_2 -geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold enthält.
- 20 5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Metalloxid-Träger des Gold-Katalysators ein Al_2O_3 -Träger ist.
- 25 6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der Al_2O_3 -geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold enthält.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Oxidation bei einem pH-Wert von 7 bis 11 durchgeführt wird.
- 5 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Oxidation bei einer Temperatur von 20°C bis 140°C, vorzugsweise 40°C bis 90°C durchgeführt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Oxidation bei einem Druck von 1 bar bis 25 bar durchgeführt wird.
- 10 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei während der Oxidation Sauerstoff und/oder Luft durch die wässrige Lösung des Kohlenhydrates, des Gemisches oder der Zusammensetzung hindurchgeperlt wird.
- 15 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Verhältnis zwischen der Menge des/der zu oxidierenden Kohlenhydrate(s) oder des Gemisches und der Menge des auf dem Metalloxid-Trägers enthaltenen Goldes größer als 1000 ist.
- 20 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat eine Aldose mit einer Aldehyd-Gruppe am C1-Kohlenstoffatom ist.
- 25 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat in 2-Ketose-Form vorliegt, die zunächst in die oxidierbare tautomere Aldose-Form überführt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat ein Monosaccharid, ein

Oligosaccharid, ein Gemisch davon oder eine diese(s) enthaltende Zusammensetzung ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei das zu oxidierende Monosaccharid Glucose, Galactose, Mannose, Xylose oder Ribose ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei bei der Glucose-Oxidation als Oxidationsprodukt Gluconsäure erhalten wird.

17. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das zu oxidierende Oligosaccharid ein Disaccharid ist.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei das Disaccharid eine Disaccharid-Aldose wie Maltose, Lactose, Cellobiose oder Isomaltose ist.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei bei der Maltose-Oxidation als Oxidationsprodukt Maltobionsäure erhalten wird.

20. Verfahren nach Anspruch 18, wobei bei der Lactose-Oxidation als Oxidationsprodukt Lactobionsäure erhalten wird.

21. Verfahren nach Anspruch 17, wobei das Disaccharid eine Dissaccharid-2-Ketose wie Palatinose ist.

22. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat Maltodextrin ist.

23. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat ein Stärkesirup ist.

24. Verfahren zur selektiven Oxidation von mindestens einem Oligosaccharid, einem Gemisch davon oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung, wobei eine wässrige Lösung des Oligosaccharids, des Gemisches oder der Zusammensetzung in Gegenwart eines Gold-Katalysators, umfassend nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Träger, und von Sauerstoff umgesetzt wird.
25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei eine Aldehyd-Gruppe des/der Oligosaccharide(s) selektiv zu einer Carboxyl-Gruppe oxidiert wird.
26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, wobei der Träger des eingesetzten Gold-Katalysators ein TiO_2 -Träger ist.
27. Verfahren nach Anspruch 26, wobei der TiO_2 -geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold enthält.
28. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, wobei der Träger des eingesetzten Gold-Katalysators ein Al_2O_3 -Träger ist.
29. Verfahren nach Anspruch 28, wobei der Al_2O_3 -geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold enthält.
30. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, wobei der Träger des eingesetzten Gold-Katalysators ein Kohlenstoff-Träger ist.
31. Verfahren nach Anspruch 30, wobei der Kohlenstoff-geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5

% Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold enthält.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 31,
wobei die Oxidation bei einem pH-Wert von 7 bis 11
5 durchgeführt wird.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 32,
wobei die Oxidation bei einer Temperatur von 20°C
bis 140°C, vorzugsweise 40°C bis 90°C durchgeführt
wird.

10 34. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 33,
wobei die Oxidation bei einem Druck von 1 bar bis
25 bar durchgeführt wird.

35. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 34,
wobei während der Oxidation Sauerstoff und/oder
15 Luft durch die wässrige Lösung des Oligosacchari-
des, des Gemisches oder der Zusammensetzung hin-
durchgeperlt wird.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 35,
wobei das Verhältnis zwischen der Menge des/der zu
20 oxidierenden Oligosaccharide(s) oder des Gemisches
davon und der Menge des auf dem Träger enthaltenen
Goldes größer als 1000 ist.

37. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 36,
wobei das zu oxidierende Oligosaccharid eine Aldose
25 mit einer Aldehyd-Gruppe am C1-Kohlenstoffatom ist.

38. Verfahren nach Anspruch 37, wobei das zu oxi-
dierende Oligosaccharid eine Disaccharid-Aldose
ist.

39. Verfahren nach Anspruch 38, wobei die Disaccharid-Aldose Maltose, Lactose, Cellobiose oder Isomaltose ist.
40. Verfahren nach Anspruch 39, wobei bei der Maltose-Oxidation als Oxidationsprodukt Maltobionsäure erhalten wird.
41. Verfahren nach Anspruch 39, wobei bei der Lactose-Oxidation als Oxidationsprodukt Lactobionsäure erhalten wird.
42. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 36, wobei das zu oxidierende Oligosaccharid in 2-Ketose-Form vorliegt, die vor der Oxidation in die oxidierbare tautomere Aldose-Form überführt wird.
43. Verfahren nach Anspruch 42, wobei das zu oxidierende Oligosaccharid eine Disaccharid-2-Ketose ist.
44. Verfahren nach Anspruch 43, wobei die Disaccharid-Ketose Palatinose ist.
45. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 36, wobei das zu oxidierende Oligosaccharid-Gemisch Maltodextrin ist.
46. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 36, wobei die zu oxidierende Zusammensetzung ein Stärkesirup ist.
47. Oxidationsprodukt, erhältlich durch selektive Oxidation von mindestens einem Kohlenhydrat, einem Kohlenhydrat-Gemisch oder einer diese(s) enthalten-

den Zusammensetzung unter Verwendung eines Gold-Katalysators, umfassend nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Metalloxid-Träger, nach einem der Verfahren 1 bis 23 oder durch selektive Oxidation von mindestens einem Oligosaccharid, einem Gemisch davon oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung unter Verwendung eines Gold-Katalysators, umfassend nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Träger, nach einem der Ansprüche 24 bis 46.

48. Oxidationsprodukt nach Anspruch 47, wobei das Oxidationsprodukt Gluconsäure ist, erhältlich durch Oxidation von Glucose.

49. Oxidationsprodukt nach Anspruch 47, wobei das Oxidationsprodukt Maltobionsäure ist, erhältlich durch Oxidation von Maltose.

50. Oxidationsprodukt nach Anspruch 47, wobei das Oxidationsprodukt Lactobionsäure ist, erhältlich durch Oxidation von Lactose.

51. Oxidationsprodukt nach Anspruch 47, erhältlich durch Oxidation von Maltodextrin.

52. Oxidationsprodukt nach Anspruch 47, erhältlich durch Oxidation eines Stärkesirups.

53. Verwendung eines Gold-Katalysators, umfassend nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Metalloxid-Träger, zur selektiven Oxidation von mindestens einem Kohlenhydrat, einem Kohlenhydrat-Gemisch oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung.

54. Verwendung nach Anspruch 53, wobei der Metall-oxid-Träger des Gold-Katalysators ein TiO_2 -Träger ist.
55. Verwendung nach Anspruch 54, wobei der TiO_2 -geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold enthält.
56. Verwendung nach Anspruch 53, wobei der Metall-oxid-Träger des Gold-Katalysators ein Al_2O_3 -Träger ist.
57. Verwendung nach Anspruch 56, wobei der Al_2O_3 -geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold enthält.
58. Verwendung nach einem der Ansprüche 53 bis 57, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat ein Monosaccharid, ein Oligosaccharid, ein Gemisch davon oder eine diese(s) enthaltende Zusammensetzung ist.
59. Verwendung nach Anspruch 58, wobei das zu oxidierende Monosaccharid Glucose, Galactose, Mannose, Xylose oder Ribose ist.
60. Verwendung nach Anspruch 59, wobei als Glucose-Oxidationsprodukt Gluconsäure erhalten wird.
61. Verwendung nach Anspruch 58, wobei das zu oxidierende Oligosaccharid eine Disaccharid-Aldose ist.
62. Verwendung nach Anspruch 61, wobei die zu oxidierende Disaccharid-Aldose Maltose, Lactose, Cellobiose oder Isomaltose ist.

63. Verwendung nach Anspruch 62, wobei als Maltose-Oxidationsprodukt Maltobionsäure erhalten wird.
64. Verwendung nach Anspruch 62, wobei als Lactose-Oxidationsprodukt Lactobionsäure erhalten wird.
- 5 65. Verwendung nach Anspruch 58, wobei das zu oxidierende Oligosaccharid eine Disaccharid-Ketose ist.
66. Verwendung nach Anspruch 65, wobei die zu oxidierende Disaccharid-Ketose Palatinose ist.
- 10 67. Verwendung nach Anspruch 58, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat Maltodextrin ist.
68. Verwendung nach Anspruch 58, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat ein Stärkesirup ist.
- 15 69. Verwendung eines Gold-Katalysators, umfassend nanodispers verteilte Gold-Partikel auf einem Kohlenstoff-Träger, zur selektiven Oxidation von mindestens einem Oligosaccharid, einem Oligosaccharid-Gemisch oder einer diese(s) enthaltenden Zusammensetzung.
- 20 70. Verwendung nach Anspruch 69, wobei der Kohlenstoff-geträgerte Gold-Katalysator etwa 0,1 % bis 5 % Gold, vorzugsweise etwa 0,5 % bis 1 % Gold enthält.
- 25 71. Verwendung nach Anspruch 69 oder 70, wobei das zu oxidierende Oligosaccharid eine Oligosaccharid-Aldose ist.

72. Verwendung nach Anspruch 71, wobei die zu oxidierende Oligosaccharid-Aldose Maltose, Lactose, Cellobiose oder Isomaltose ist.

73. Verwendung nach Anspruch 72, wobei als Maltose-Oxidationsprodukt Maltobionsäure erhalten wird.

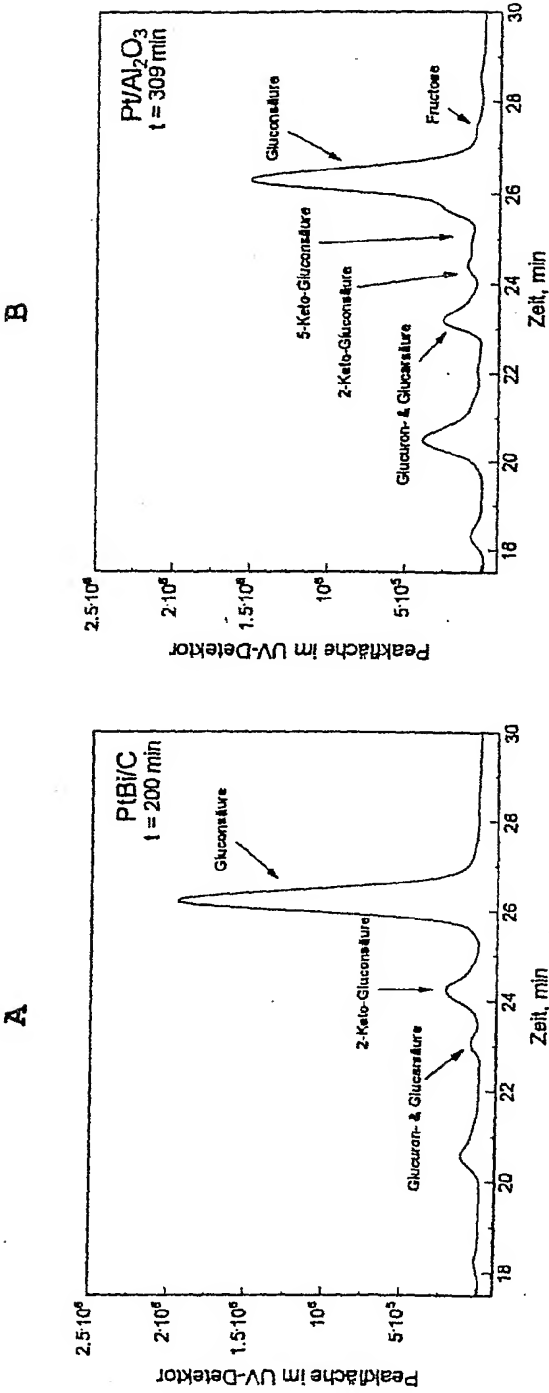
74. Verwendung nach Anspruch 72, wobei als Lactose-Oxidationsprodukt Lactobionsäure erhalten wird.

75. Verwendung nach Anspruch 69 oder 70, wobei das zu oxidierende Oligosaccharid in 2-Ketose-Form vorliegt, die zunächst in die tautomere Aldose-Form überführt und dann oxidiert wird.

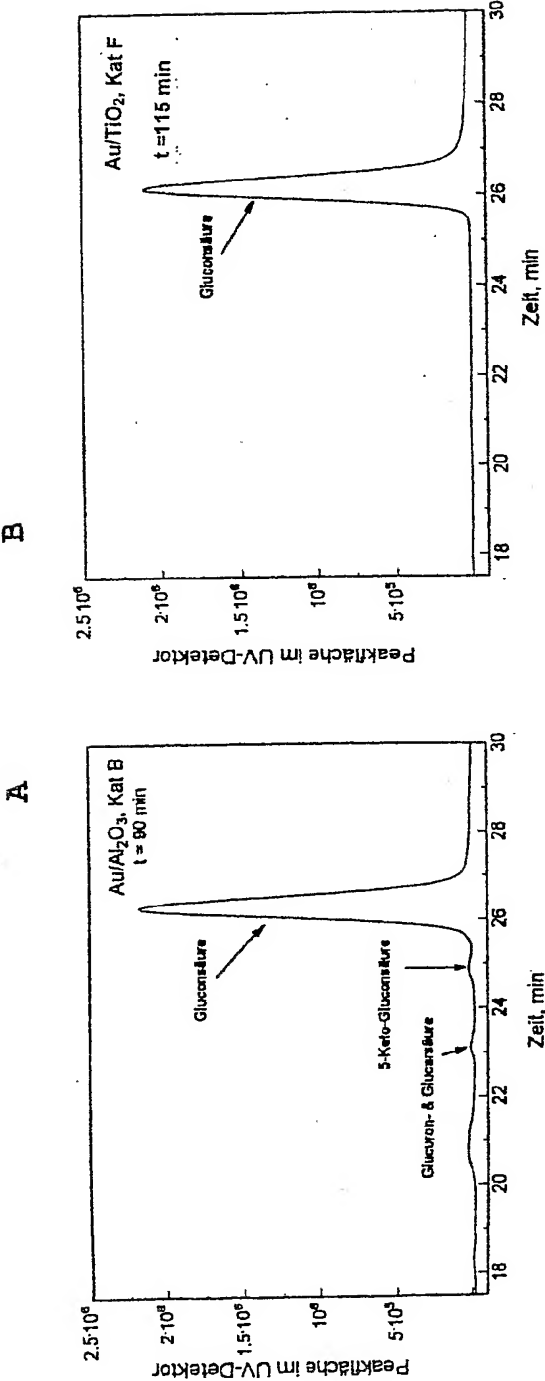
76. Verwendung nach Anspruch 75, wobei die zu oxidierende Oligosaccharid-2-Ketose Palatinose ist.

77. Verwendung nach Anspruch 69 oder 70, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat Maltodextrin ist.

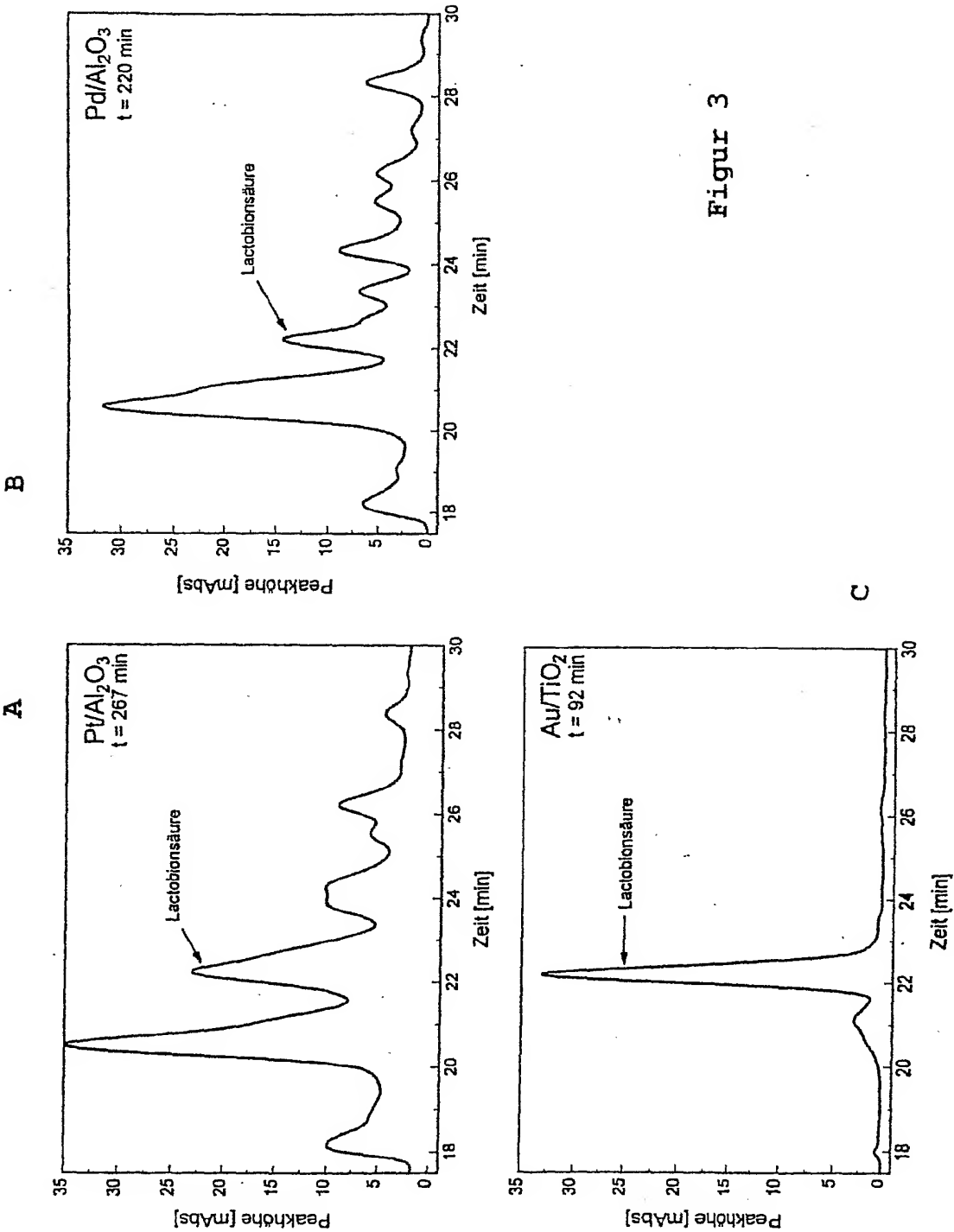
78. Verwendung nach Anspruch 69 oder 70, wobei das zu oxidierende Kohlenhydrat ein Stärkesirup ist.



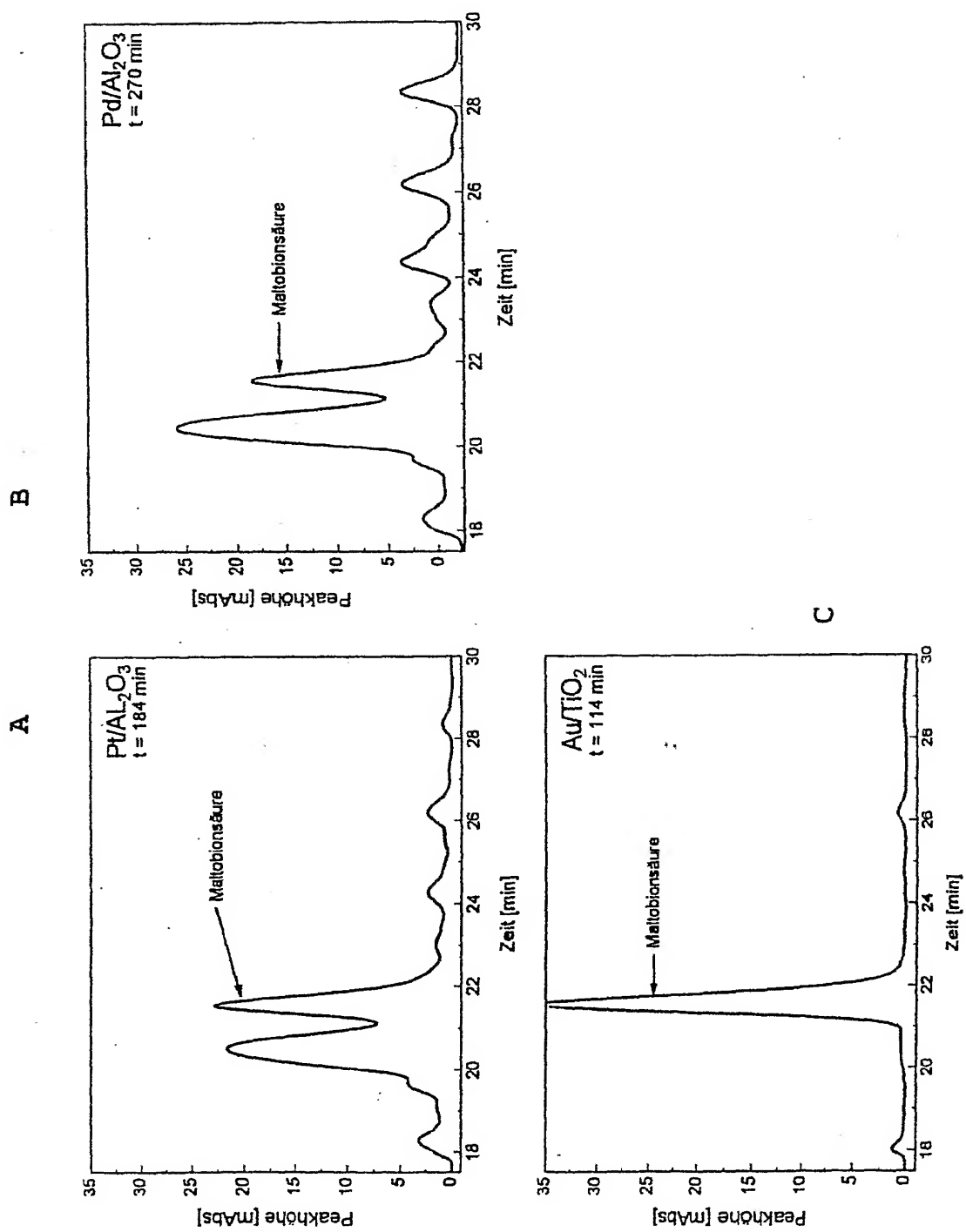
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

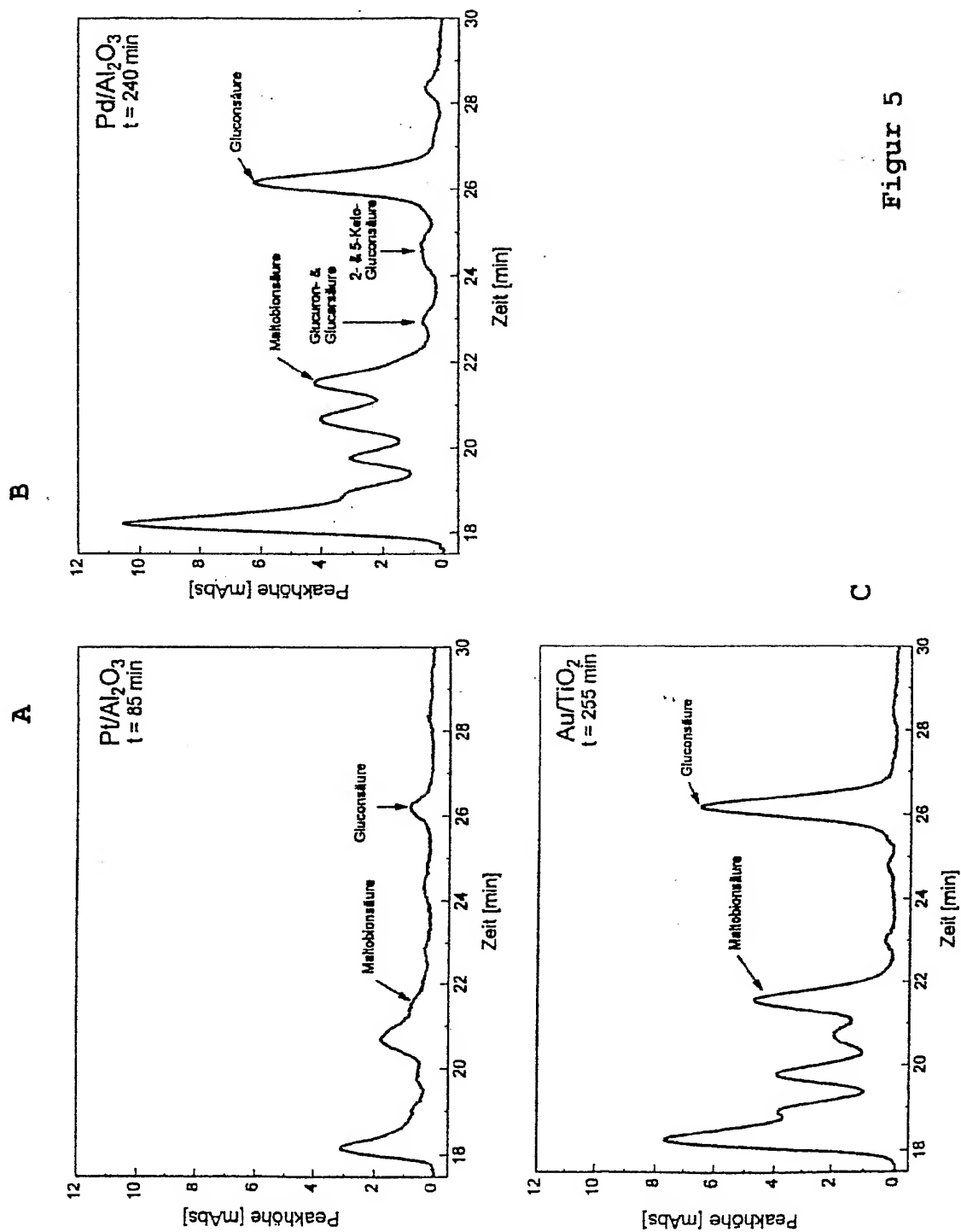


Figure 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/004703

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 C07C59/105 C07H7/027 C07C51/235

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 C07C C07H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, CHEM ABS Data, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BIELLA S ET AL: "Selective Oxidation of D-Glucose on Gold Catalyst" JOURNAL OF CATALYSIS, ACADEMIC PRESS, DULUTH, MN, US, vol. 206, no. 2, 10 March 2002 (2002-03-10), pages 242-247, XP004445070 ISSN: 0021-9517 cited in the application	47-52
Y	the whole document	1-46, 53-78
X	US 4 985 553 A (FUERTES PATRICK M ET AL) 15 January 1991 (1991-01-15)	47-52
Y	the whole document	1-46, 53-78
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 August 2004

Date of mailing of the international search report

01/09/2004

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bardili, W

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/004703

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 38 23 301 C (DEGUSSA) 2 November 1989 (1989-11-02) the whole document -----	47-52
X	DE 43 07 388 A (ZUCKERINDUSTRIE VEREIN) 15 September 1994 (1994-09-15) the whole document -----	47-52
Y		1-46, 53-78
A	DE 198 04 709 A (BAYER AG) 12 August 1999 (1999-08-12) -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/004703

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4985553	A	15-01-1991	FR 2597473 A1	23-10-1987
			AT 67501 T	15-10-1991
			CA 1284496 C	28-05-1991
			DE 3773009 D1	24-10-1991
			EP 0232202 A2	12-08-1987
			FI 870411 A ,B,	31-07-1987
			JP 2596548 B2	02-04-1997
			JP 62247837 A	28-10-1987
DE 3823301	C	02-11-1989	DE 3823301 C1	02-11-1989
			AT 76056 T	15-05-1992
			DE 58901387 D1	17-06-1992
			EP 0350741 A1	17-01-1990
			ES 2032075 T3	01-01-1993
			GR 3004836 T3	28-04-1993
			JP 2072137 A	12-03-1990
			JP 2716534 B2	18-02-1998
			US 5132452 A	21-07-1992
DE 4307388	A	15-09-1994	DE 4307388 A1	15-09-1994
			AT 137489 T	15-05-1996
			AU 689101 B2	26-03-1998
			AU 6283594 A	26-09-1994
			BG 61999 B1	30-12-1998
			BG 100021 A	31-05-1996
			BR 9405896 A	12-12-1995
			CA 2157937 A1	15-09-1994
			CZ 9502310 A3	17-01-1996
			DE 59400253 D1	05-06-1996
			DK 651734 T3	10-06-1996
			WO 9420448 A1	15-09-1994
			EP 0651734 A1	10-05-1995
			ES 2086999 T3	01-07-1996
			FI 953372 A	10-07-1995
			GR 3019822 T3	31-08-1996
			HU 73732 A2	30-09-1996
			JP 8509701 T	15-10-1996
			NO 953536 A	08-09-1995
			NZ 262903 A	26-11-1996
			PL 309642 A1	30-10-1995
			RO 114606 B	30-06-1999
			RU 2129541 C1	27-04-1999
			SI 651734 T1	31-10-1997
			SK 109995 A3	06-12-1995
DE 19804709	A	12-08-1999	DE 19804709 A1	12-08-1999
			AU 2719999 A	23-08-1999
			BR 9907695 A	14-11-2000
			CA 2319613 A1	12-08-1999
			CN 1290259 T	04-04-2001
			DE 59900678 D1	21-02-2002
			WO 9940077 A2	12-08-1999
			EP 1054879 A2	29-11-2000
			ES 2168851 T3	16-06-2002
			HU 0100703 A2	28-06-2001
			ID 25501 A	05-10-2000
			JP 2002502847 T	29-01-2002
			PT 1054879 T	29-04-2002

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/004703

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19804709	A	TW 458953 B	11-10-2001
		US 2002165404 A1	07-11-2002
		US 6548682 B1	15-04-2003
<hr/>			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/004703

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 C07C59/105 C07H7/027 C07C51/235

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 C07C C07H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, CHEM ABS Data, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	BIELLA S ET AL: "Selective Oxidation of D-Glucose on Gold Catalyst" JOURNAL OF CATALYSIS, ACADEMIC PRESS, DULUTH, MN, US, Bd. 206, Nr. 2, 10. März 2002 (2002-03-10), Seiten 242-247, XP004445070 ISSN: 0021-9517 in der Anmeldung erwähnt	47-52
Y	das ganze Dokument	1-46, 53-78
X	US 4 985 553 A (FUERTES PATRICK M ET AL) 15. Januar 1991 (1991-01-15)	47-52
Y	das ganze Dokument	1-46, 53-78

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

24. August 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

01/09/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Bardili, W

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/004703

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 38 23 301 C (DEGUSSA) 2. November 1989 (1989-11-02) das ganze Dokument	47-52
X	DE 43 07 388 A (ZUCKERINDUSTRIE VEREIN) 15. September 1994 (1994-09-15)	47-52
Y	das ganze Dokument	1-46, 53-78
A	DE 198 04 709 A (BAYER AG) 12. August 1999 (1999-08-12)	

INTERNATIONALER RESEARCHBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/004703

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4985553	A	15-01-1991	FR 2597473 A1	23-10-1987
			AT 67501 T	15-10-1991
			CA 1284496 C	28-05-1991
			DE 3773009 D1	24-10-1991
			EP 0232202 A2	12-08-1987
			FI 870411 A ,B,	31-07-1987
			JP 2596548 B2	02-04-1997
			JP 62247837 A	28-10-1987
DE 3823301	C	02-11-1989	DE 3823301 C1	02-11-1989
			AT 76056 T	15-05-1992
			DE 58901387 D1	17-06-1992
			EP 0350741 A1	17-01-1990
			ES 2032075 T3	01-01-1993
			GR 3004836 T3	28-04-1993
			JP 2072137 A	12-03-1990
			JP 2716534 B2	18-02-1998
			US 5132452 A	21-07-1992
DE 4307388	A	15-09-1994	DE 4307388 A1	15-09-1994
			AT 137489 T	15-05-1996
			AU 689101 B2	26-03-1998
			AU 6283594 A	26-09-1994
			BG 61999 B1	30-12-1998
			BG 100021 A	31-05-1996
			BR 9405896 A	12-12-1995
			CA 2157937 A1	15-09-1994
			CZ 9502310 A3	17-01-1996
			DE 59400253 D1	05-06-1996
			DK 651734 T3	10-06-1996
			WO 9420448 A1	15-09-1994
			EP 0651734 A1	10-05-1995
			ES 2086999 T3	01-07-1996
			FI 953372 A	10-07-1995
			GR 3019822 T3	31-08-1996
			HU 73732 A2	30-09-1996
			JP 8509701 T	15-10-1996
			NO 953536 A	08-09-1995
			NZ 262903 A	26-11-1996
			PL 309642 A1	30-10-1995
			RO 114606 B	30-06-1999
			RU 2129541 C1	27-04-1999
			SI 651734 T1	31-10-1997
			SK 109995 A3	06-12-1995
DE 19804709	A	12-08-1999	DE 19804709 A1	12-08-1999
			AU 2719999 A	23-08-1999
			BR 9907695 A	14-11-2000
			CA 2319613 A1	12-08-1999
			CN 1290259 T	04-04-2001
			DE 59900678 D1	21-02-2002
			WO 9940077 A2	12-08-1999
			EP 1054879 A2	29-11-2000
			ES 2168851 T3	16-06-2002
			HU 0100703 A2	28-06-2001
			ID 25501 A	05-10-2000
			JP 2002502847 T	29-01-2002
			PT 1054879 T	29-04-2002

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/EP2004/004703

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie) (Januar 2004)